

Tampereen ammattikorkeakoulu
Sähkötekniikan koulutusohjelma, talotekniikka
Matti Rinne-Kanto

Opinnäytetyö

Rakennusautomaatiolla energiasäästöihin kiinteistöissä

Työn ohjaaja
Tampere 5/2010

Diplomi-insinööri Veijo Piikkilä, TAMK

Tekijä	Matti Rinne-Kanto
Työn nimi	Rakennusautomaatiolla energiasäästöihin kiinteistöissä
Sivumäärä	66
Valmistumisaika	5/2010
Työn ohjaaja	Diplomi-insinööri Veijo Piikkilä, TAMK

Tiivistelmä

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tarkastella erilaisia keinoja rakennusten energiankulutuksen säästämiseen rakennusautomaation avulla. Työssä käytiin lävitse rakennusten energiatehokkuutta, suunnittelun ja käytön merkitystä energiankulutukseen ja erilaisia toteutustapoja rakennuksen ilmanvaihdon, valaistuksen, lämmityksen ja jäähdytyksen ohjaukseen. Tarkemmin käsiteltiin rakennuksen automaation tehokkuusluokkia sekä energiankulutusta ja -seurantaa.

Työn lähtökohtana oli oma kiinnostus aiheeseen, lisäksi aiheen valintaan vaikutti alan yritysten lisääntynyt toiminta erilaisissa energiansäästöhankeissa. Työ pohjautuu suurilta osin SFS EN 15232- standardiin, aiheen kirjallisuuteen, koulun opetusmateriaaleihin sekä omaan työkokemukseen.

Tätä työtä voi käyttää tiedonlähteenä vapaasti. Siinä on käsitelty laajasti energiankulutusta ja -seurantaa, joka on hyvänä pohjana, kun mietitään siirtymistä kulutusseurantaan. Lisäksi siinä on käsitelty markkinoilta löytyviä erilaisia rakennusautomaation hallinta- ja optimointipalveluita sekä kerrottu ESCO-toiminnasta Hollolan kunnan hankkeen avulla.

Avainsanat	energiankulutus, rakennusautomaatio, kulutusseuranta, energiatehokkuus
------------	---

Writer	Matti Rinne-Kanto
Thesis	How to save energy in buildings via Building Automation
Pages	66
Graduation time	5/2010
Thesis Advisor	Master of Science in Engineering Veijo Piikkilä, TAMK

Abstract

The objective of this thesis was to examine different kind of methods for reducing buildings energy consumption with the help of building automation. Thesis was an overview to buildings energy efficiency and dealt with the significance of planning, operating and maintaining systems properly. There was also defined different ways to control ventilation, lighting, heating and cooling. In more detail the efficiency classes of buildings automation and energy consumption and monitoring were dealt with.

Starting point to this thesis was my own interest to the subject. In addition different kind of energy saving projects has grown among the companies of this line of business. Thesis was based mostly to the SFS EN 15232 standard, topic's literature, school's teaching material and to my own work experience.

This thesis can be used freely as an information source. Energy consumption and monitoring has been handled widely which forms a good base when someone is going to start monitoring consumption. Besides, there is an overview to different kind of optimizing services and controlling services of building automation which can be found on the market. There is also a short overview to ESCO projects and as an example there has been told briefly about the ESCO project of the city of Hollola.

Keywords	energy consumption, building automation, consumption monitoring, energy efficiency
----------	---

Sisällysluettelo

1	JOHDANTO	6
1.1	TYÖN TAVOITE	6
1.2	TYÖN RAJAUS JA LÄHTÖKOHDAT TYÖN SUORITTAMISELLE	6
2	RAKENNUSTEN ENERGIA TEHOKKUUS	8
2.1	RAKENNUKSEN ENERGIATODISTUS	8
2.2	KIINTEISTÖJEN ENERGIA TEHOKKUUTEEN VAIKUTTAMINEN JA NIIDEN ENERGIATALOUS	9
2.3	RAKENNUKSEN AUTOMAATION TEHOKKUUSLUOKAT TOIMINTOJEN PERUSTEELLA	10
2.4	ENERGIA TEHOKKUUDEN LASKEMISMENETELMÄT	11
2.4.1	<i>Lähestymistapa: suora</i>	<i>11</i>
2.4.2	<i>Lähestymistapa: toimintamuoto</i>	<i>12</i>
2.4.3	<i>Lähestymistapa: aika</i>	<i>12</i>
2.4.4	<i>Lähestymistapa: huonelämpötila</i>	<i>13</i>
2.4.5	<i>Lähestymistapa: korjauskerroin</i>	<i>14</i>
2.5	RAKENNUSAUTOMAATIOJÄRJESTELMÄN TEHOKKUUSKERTOIMIIN PERUSTUVAT LASKENTAMENETELMÄT	14
2.6	RAKENNUSAUTOMAATIOJÄRJESTELMIEN OHJELMISTOJEN ENERGIA TEHOKKUUS	18
3	SUUNNITTELUN JA KÄYTÖN MERKITYS	19
3.1	SUUNNITTELUN TÄRKEYS KOHTEISSA	19
3.2	KÄYTTÖÖNOTTOON LIITTYVÄT TARKASTUKSET JA KÄYTTÄJIEN OPASTUS	19
3.3	HUOLLON TÄRKEYS KOHTEISSA	20
3.4	ENERGIANKULUTUS JA SEURANTA	20
3.4.1	<i>Lämmitysenergiankulutuksen normeeraus</i>	<i>20</i>
3.4.1.1	<i>Lämmitystarveluvut</i>	<i>21</i>
3.4.1.2	<i>Lämmitysenergian kulutus</i>	<i>21</i>
3.4.1.3	<i>Lämpimän käyttöveden kulutus</i>	<i>23</i>
3.4.2	<i>Kulutusseurantaan siirtyminen</i>	<i>24</i>
3.4.2.1	<i>Kiinteistön mittausten ja säätölaitteiden tekninen taso</i>	<i>25</i>
3.4.2.2	<i>Mittausdatan tallennus ja käsittely</i>	<i>25</i>
3.4.2.3	<i>Kulutustiedon analysointi ja raportointi</i>	<i>25</i>
3.4.3	<i>Kiinteistön energiankulutuksen mittaus</i>	<i>26</i>
3.4.3.1	<i>Rakennusautomaatiojärjestelmään liitettävät mittarit</i>	<i>26</i>
3.4.3.2	<i>Kiinteistön osajärjestelmien energiankulutuksen mittaus</i>	<i>27</i>
3.4.4	<i>Energianseuranta</i>	<i>29</i>
3.4.4.1	<i>Energiankulutuksen tavoitearvot</i>	<i>30</i>
3.4.4.2	<i>Kulutuspoikkeamien havaitseminen</i>	<i>31</i>
3.5	TEHONRAJOITUSTEN KÄYTTÖ	34
4	TILOJEN ILMANVAIHDON OHJAUS JA TEHOSTUS	36

4.1	PAIKALLA, TEHOSTUS, YÖ- JA POISSAOLO-AJAN SÄÄDÖT	36
4.2	CO ₂ -OHJATTU ILMANVAIHTO.....	37
5	ENERGIANSÄÄSTÖJÄ PUHALTIMIEN, PUMPPUJEN JA VALAISTUKSEN OHJAUKSISTA	38
5.1	PUHALTIMIEN JA PUMPPUJEN OHJAUS JA SÄÄTÖ	38
5.1.1	1- ja 2-nopeus oikosulkumoottorit	38
5.1.2	Puhaltimien ja pumppujen taajuusmuuttajakäytöt	39
5.1.3	Puhaltimien ohjauksiin liittyviä säästötoimenpiteitä	39
5.1.4	DC- ja EC-moottorikäytöt	40
5.1.4.1	DC-moottorikäytöt.....	40
5.1.4.2	EC-moottorikäytöt	41
5.2	TILOJEN VALAISTUKSEN JA SÄLEKAIHTIMIEN OHJAUS	43
5.2.1	Sisävalaistuksen ohjaus	43
5.2.2	Ulkovalaistuksen ohjaus	44
5.2.3	Säleikaihtimien ohjaus.....	44
5.3	TILOJEN LÄMMITYKSEN JA JÄÄHDYTYKSEN SÄÄTÖ	44
5.3.1	Huoneistokohtaisen jäähdytyksen ja lämmityksen ohjaus.....	45
5.3.2	Huonelämpötilan mukaan säädettävä patteriverkosto	46
5.3.3	Lämpötila ohjattu ilmanvaihto	47
6	ERILAISET ENERGIANSÄÄSTÖHANKKEET JA -PALVELUT.....	48
6.1	SIEMENSIN TARJOAMAT ERILAISET HALLINTA- JA OPTIMOINTI PALVELUT.....	48
6.1.1	Elinkaaripalvelut.....	49
6.1.2	Hälytyspalvelut	49
6.1.3	Energiapalvelut.....	50
6.1.4	Käyttöpalvelut	50
6.1.5	Ylläpitopalvelut.....	51
6.1.6	Tietopalvelut.....	51
6.2	ESCO-HANKKEET	51
7	HOLLOLAN KUNNAN ESCO-HANKE.....	53
7.1	LASKETUT ENERGIANSÄÄSTÖT	54
7.2	TOTEUTUNEET ENERGIANSÄÄSTÖT JA KÄYNNISSÄ OLEVAT LISÄTOIMENPITEET	54
8	YHTEENVETO	56
	LÄHTEET	57
	LIITTEET.....	60
	LIITE 1: RAKENNUSTEN ENERGIATEHOKKUUTEEN VAIKUTTAVAT TOIMINNOT	60
	LIITE 2: RAKENNUSAUTOMAATIOJÄRJESTELMÄN ENERGIATEHOKKUUSLUOKAN C VAATIMUKSET	64

Lyhenteiden ja termien luettelo

Ennakointi, eteenkytkentä

= mitataan jatkuvasti säätökohteessa esiintyvää häiriötä ja kompensoidaan sen vaikutus

ESCO

= (Energy Saving Company) yritystoimintaa, jonka liikeideana on rahoittaa ja hallita energiaa säästäviä investointeja ja toimenpiteitä

EC-moottori

= elektronisesti kommutoitu moottori

Kaskadisäätö, sarjasäätö

= kaksi säädintä kytketään yhteen niin, että ensimmäisen lähtöviesti tulee toisen asetusarvoksi. Nopeampi häiriöiden vaikutuksen kompensointi

Kulutustrendi

= aikasarja energiankulutuksesta

Kumulatiivinen kulutus

= energiamittarin lukuikkunassa oleva lukema, yleensä jatkuvasti kasvava

Normeeraus

= erityisesti lämmönkulutuksen vertailtavuuden parantamiseksi lämmityksen kuukausittaista tai vuosittaista kulutusta korjataan vastaavien jaksojen lämmitystarveluvuilla

Normitetut tilastot

= lämmöntarveluvuilla korjatut lämpöenergiankulutuksen tilastot

Normittaa

= korjata lämpöenergiankulutus lämmöntarveluvuilla

Päälle- ja poiskytkennän viive-ajat

= aika, jonka kuluttua indikointi annetaan VAK:een

PWM-tekniikka

= pulssin leveystekniikka, pulssin leveyttä säätämällä tapahtuva tehonohjaus

Rakennuksen käyttötoiminnot

= paloturva- ja turvajärjestelmä-, rakennusautomaatio- ja sisäilmaston säätötekniologia

1 Johdanto

Jatkuva sähkönhintojen epävakaisuus, laajentunut kasvihuoneilmiö ja hiilidioksidipäästöt ovat lisänneet 2000-luvulla mielenkiintoa säästää kiinteistöjen energiankulutuksessa. Suomessa suurin osa sähkönkulutuksesta vuonna 2009 meni teollisuuteen (46 %), asumiseen ja maatalouteen (29 %) sekä palveluihin ja rakentamiseen (22 %) ja loput menivät siirto- ja jakeluhäviöihin (Energiateollisuus ry, 2010). Maailmanlaajuisesti 40 % energiasta käytetään rakennuksissa, jotka aiheuttavat 21 % maailman kasvihuonepäästöistä. Rakennusautomaation avulla voidaan säästää kiinteistöjen energiankulutuksessa n. 20–30 %, lisäksi erilaisilla käytön optimointitoimenpiteillä voidaan säästää 10–15 %. (Siemens, 2010.) Kyseiset optimointitoimenpiteet ovat lisääntyneet nykypäivänä, ja ne ovatkin suuri osa alalla työskentelevien yritysten liikevaihdosta.

1.1 Työn tavoite

Työn tavoitteena oli perehtyä rakennusten energiatehokkuusstandardiin SFS-EN 15232, suunnittelun ja oikeanlaisen käytön tärkeyteen, erilaisiin rakennusautomaation optimointi- ja säästötoimenpiteisiin, markkinoilta löytyviin energiansäätöhankeisiin ja -palveluihin, joista esimerkkinä Hollolan kunnan ESCO-hanke.

1.2 Työn rajaus ja lähtökohdat työn suorittamiselle

Työssä ei varsinaisesti perehdytty erilaisiin talosähkön, LVI:n tai rakennustekniikan keinoihin, joilla voidaan säästää energiaa. Kohteissa, joissa on suoritettu esimerkiksi ESCO-hankkeita, joudutaan useinkin tekemään erilaisia LVI-, sähkö- ja rakennustöitä, jotta energiasäästö tavoitteisiin päästäisiin. Rakennusautomaatio on enemmänkin työkalu, jonka avulla käytön aikaiset säästöt saavutetaan. Lähtökohtana työn suorittamiselle oli täysin oma mielenkiinto, koska olen työskennellyt rakennusautomaatio-alalla ja kohteessa, jossa toteutettiin Schneider Electric Buildings Finland Oy:n ESCO-hanke.

2 Rakennusten energiatehokkuus

Rakennuksen energiatehokkuuteen voidaan vaikuttaa vähentämällä energiankulutusta ja parantamalla sisäilmaston laatua ja rakennuksen palvelutasoa. Järjestelmien ja teknisten ratkaisujen toimivuus on edellytys sille, että päästään hyvään energiatehokkuuteen, johon rakennuksen automaatiolla voidaan vaikuttaa. (Hyvärinen 2009, 2.)

$$\frac{\text{Tulos: hyvä sisäilmasto ja palvelutaso}}{\text{Panos: energian kulutus}}$$

2.1 Rakennuksen energiatodistus

Vuodesta 2009 olemassa oleville rakennuksille on vaadittu energiatodistus, kun rakennusta tai sen osaa myydään tai vuokrataan (Motiva Oy 2010, Laskukaavat: Lämmin käyttövesi). Rakennuksen energiatodistus kertoo rakennuksen energiatehokkuusluvun, joka saadaan jakamalla laskettu tai mitattu vuotuinen energiankulutus (lämmitys- ja jäähdytysenergia sekä laite- tai kiinteistösähkö) rakennuksen bruttopinta-alalla (kWh/brm^2). Rakennukset luokitellaan energiatehokkuuden mukaan asteikolla A-G, jotka ilmenevät kuvista 1.

SFS-EN 15217, viitteelliset raja-arvot. Luokka

A puolet määräystasosta

B määräystaso

C määräystason ja rakennuskannan keskiarvo

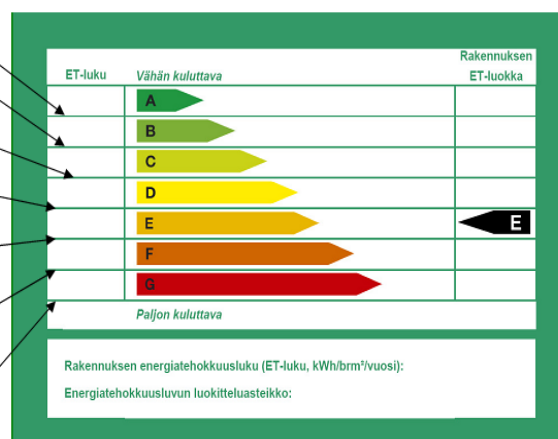
D rakennuskannan keskiarvo

E 1,25 kertaa rakennuskannan keskiarvo

F 1,5 kertaa rakennuskannan keskiarvo

G huonompi kuin 1,5 kertaa rakennuskannan keskiarvo

Suomessa energiatehokkuuden luokat rakennustyypeittäin on annettu energiatodistusta käsittelevän asetuksen liitteissä.



Kuvio 1: Rakennusten energiatehokkuusluokat (Hyvärinen 2009, 3).

Energiatodistuksen päätavoitteena on ohjata parempaan energiatehokkuuteen, jolloin rahaa säästyy ja hiilidioksidipäästöt vähenevät. Se auttaa kiinteistön omistajia tunnistamaan ja erottamaan vähän ja paljon kuluttavat rakennukset toisistaan sekä voi

muodostua monissa rakennuksen osto- ja vuokratilanteissa tärkeäksi valintatekijäksi. (Piikkilä 2009, 10–11.)

2.2 Kiinteistöjen energiatehokkuuteen vaikuttaminen ja niiden energiatalous

Rakennusautomaatio- ja säätölaitejärjestelmät tarjoavat tehokkaita säätö- ja ohjaustoimintoja lämmityksen, ilmastoinnin, jäähdytyksen, valaistuksen ja veden kulutuksen hallintaan, joka lisää käyttö- ja energiatehokkuutta. Monimutkaiset ja keskitetyt energiansäästötoiminnot ja -menetelmät voidaan konfiguroida rakennuksen todelliseen käyttöön, jos loppukäyttäjä haluaa välttää tarpeetonta energiankäyttöä ja CO₂-päästöjä.

Teknisten kiinteistönhoidon toimintojen, jotka ovat osa kiinteistönhoitoa, tuottavat tietoa rakennusten toiminnoista, huollosta, palveluista ja hoidosta erityisesti energianhallintaan. Tiedot ovat esimerkiksi mittauksia, trendikuvaajia, hälytystietoja ja selvityksiä tarpeettomasta energiankulutuksesta. Energianhallinta tarvitsee dokumentaatiota, säätämistä ja ohjausta, seuranta, optimointia, toteamista ja tukemista korjaaville toiminnoille ja estämistoimia, jotta rakennusten energiatehokkuutta voidaan parantaa. (SFS EN 15232 2008, 12.) Kiinteistön energiatalous määräytyy kahdesta eri tekijästä, jotka ovat:

- LVI-, jäähdytys- ja sähköjärjestelmien ominaisenergiatalous, joka määräytyy suunnittelu- ja hankintavaiheessa, eikä automaatiojärjestelmällä voida siihen vaikuttaa merkittävästi
- Käytön ja ylläpidon tehokkuus, jossa rakennusautomaatiolla on merkittävä vaikutus energiataloudellisuuteen. Se on keskeinen työkalu käytönmukaisten ohjausten ylläpitoon sekä häiriöiden ja vikaantumisien valvontaan ja paikantamiseen. (ST 710.11 2004, 3.) Edellä mainittujen toimintojen säilyminen edellyttää järjestelmien ylläpitoa, esimerkiksi säännöllisiä lämpötila-antureiden vastusmittauksia ja säätimien uudelleen virittämisiä.

2.3 Rakennuksen automaation tehokkuusluokat toimintojen perusteella

Toiminnot, joilla on vaikutusta rakennusten energiatehokkuuteen, on listattu liitteen 1 taulukoissa, ja ne voidaan jakaa kolmeen pääluokkaan:

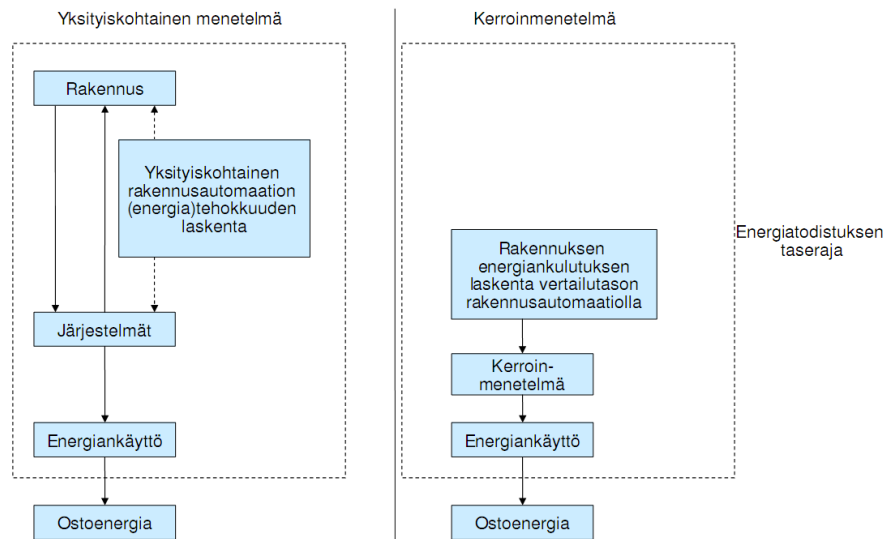
1. järjestelmien ja laitteiden automaattiset säätö- ja ohjaustoiminnot
2. rakennuksen automaatiotoiminnot (edellytys luokalle B)
3. teknisten järjestelmien hallintatoiminnot (edellytys luokalle A).

Rakennusten automaatiota arvioidaan ensin toimintojen perusteella ja sitten koko järjestelmänä neljästä eri energiatehokkuusluokasta asutulle tai asumattomalle rakennukselle:

- Luokka A, joka vastaa korkean energiatehokkuuden mahdollistavaa automaatio- ja hallintajärjestelmää (**hallintajärjestelmä**)
- Luokka B, joka vastaa edistynyttä rakennuksen automaatiota, jossa on joitakin tiettyjä hallintatoimintoja (**rakennuksen automaatiojärjestelmä**)
- Luokka C, joka vastaa tavanomaista rakennuksen automaatiota (**automaattinen ohjaus ja säätö**), luokan C rakennusautomaatiojärjestelmän vaatimukset on esitetty liitteen 2 taulukoissa
- Luokka D, joka vastaa energiatehotonta rakennuksen automaatiota (**manuaalinen käyttö**). Luokan D automaatiojärjestelmät tulisi vaihtaa paremman tehokkuusluokan järjestelmiin. (Hyvärinen 2009, 7.)

2.4 Energiatehokkuuden laskemismenetelmät

Rakennusautomaatio-, säätö-, ohjaus- ja hallintatoimintojen vaikutusta rakennusten energiatehokkuuteen voidaan laskea käyttämällä kerroin- tai yksityiskohtaista menetelmää. Kuvio 2 havainnollistaa kuinka eri lähestymistapoja käytetään.



Kuvio 2: Yksityiskohtaisen- ja Kerroinmenetelmän välinen ero (Hyvärinen 2009, 6).

Yksityiskohtaisen menetelmän käyttäminen tarkoittaa, että kaikki rakennuksen ja sen energiajärjestelmien automaatio-, säätö-, ohjaus- ja hallintatoiminnot tunnetaan.

Kerroinmenetelmä mahdollistaa yksityiskohtaista menetelmää karkeamman arvioinnin rakennusautomaatio- ja hallintatoimintojen vaikutuksista tehokkuusluokkien A, B, C ja D mukaan. Se soveltuu käytettäväksi erityisesti rakennuksen aikaisessa suunnitteluvaiheessa.

Laskemalla rakennusautomaatio- ja hallintatoimintojen vaikutusta energiankulutukseen yksityiskohtaisella menetelmällä voidaan käyttää viittä eri lähestymistapaa, joita ovat suora-, toimintamuoto-, aika-, lämpötila- ja korjauskerroinlähestymistapa. (SFS EN 15232 2008, 22–23.)

2.4.1 Lähestymistapa: suora

Laskettaessa energiatehokkuutta yksityiskohtaisella tai tuntimenetelmällä on mahdollista laskea suoraan eri toimintojen vaikutuksia -tehokkuuteen. Vaikuttavia toimintoja voivat olla esimerkiksi jaksollinen lämmitys sekä jäähdytyksen ja lämmityksen asetusarvojen muutokset ja ohjattavien aurinkovarjojen käyttö. Suora

lähestymistapa ei ole olennainen, kun kuukausittaista menetelmää käytetään, eikä sitä voida käyttää yksityiskohtaisessa menetelmässä, kun säätöjen vaikutukset johtavat aikavaihteluihin, jotka ovat nopeampia kuin simulaation aika-askeleet. (SFS EN 15232 2008, 23–24.)

2.4.2 Lähestymistapa: toimintamuoto

Automaattinen ohjaus mahdollistaa eri järjestelmien käytön erilaisissa toimintamuodoissa, kuten ilmastointijärjestelmän ”läsnä ja poissa” -toiminnoin. Laskemalla vaiheittain kaikkien toimintomuotojen energiankulutukset yhteen, saadaan kokonaisenergiankulutus. Jokaiselle toimintamuodolle laskelmat suoritetaan huomioimalla sen nykyinen tila järjestelmässä esimerkiksi se, onko puhallin päällä vai pois. (SFS EN 15232 2008, 24.)

2.4.3 Lähestymistapa: aika

Tätä lähestymistapaa voidaan käyttää, kun säätö- tai ohjausjärjestelmällä on suora vaikutus laitteen käyttöaikaan, kuten puhaltimen tai valaisimen ohjauksella on. Energiankulutus tietyllä aikajaksolla voidaan laskea kaavasta 1:

$$E = P \cdot t \cdot F_c \quad (1)$$

jossa	E	= energian kulutus aikajaksona (kWh)
	P	= ottoteho säädettävälle/ohjattavalle järjestelmälle (kW)
	t	= aikajakson pituus (h)
	F_c	= tunnuskerroin, joka edustaa säätö- tai ohjausjärjestelmän vaikutusta. Se on suhde päällekytkentäajan ja aikajakson pituuden välillä (SFS EN 15232 2008, 24.)

Lisäksi ajoitettua lähestymistapaa voidaan käyttää jos säätö- tai ohjausjärjestelmä moduloi laitteen toimintaa sen sijaan, että ohjaisi sitä päälle ja pois. Tässä tapauksessa kerroin F_c edustaa vastaavaa toiminta-ajansuhdetta. (SFS EN 15232 2008, 24.)

2.4.4 Lähestymistapa: huonelämpötila

Säätö- tai ohjausjärjestelmän vaikuttaessa suoraan huonelämpötilaan, voidaan lähestymistapana käyttää huonelämpötilaa. Se edellyttää, että laskelmissa huomioidaan energiatarpeet EN ISO 13790 -standardin mukaan, jossa käsitellään säätö- ja ohjausjärjestelmien vaikutuksia. Seuraavat vaikutukset tulisi huomioida:

- Lämmityksen ja jäähdytyksen päästöjen hallinta
- Päästöjen ja/tai jakelun ajoittainen hallinta
- Toiminnan optimointi virittämällä säätimiä
- Rakennusten tai teknisten järjestelmien vikojen havaitseminen ja diagnosointi
- Huonesäätimen vaikutukset
- Jaksoittain käytettävän lämmityssäätimen vaikutukset.

(SFS EN 15232 2008, 24–25.)

Energiankulutus voidaan laskea kaavasta 2:

$$E = L \cdot ((\theta_{SP} + \Delta\theta_C) - \theta_R) \cdot t \quad (2)$$

jossa

L	= Siirtokerroin (kW/°C)
θ_{SP}	= Asetusarvo, jota säätöjärjestelmän tulisi pitää yllä (°C)
$\Delta\theta_C$	= Edustaa vaikuttavan säätöjärjestelmän vaikutusta, lämmitettäessä $\Delta\theta_C > 0$, jäähdytettäessä $\Delta\theta_C < 0$ ja jos säätöjärjestelmä on täydellinen $\Delta\theta_C = 0$ (°C)
θ_R	= Vertailulämpötila esim. ulkolämpötila (°C)

(SFS EN 15232 2008, 25.)

Tässä lähestymistavassa:

- Kerroin L mahdollistaa sen, että hallittavan rakennuksen tai laitoksen vaikutukset voidaan huomioida
- Asetusarvo θ_{SP} , joka voi olla vakio tai muuttuva, riippuu käytetyn säätöjärjestelmän tyypistä
- $\Delta\theta_C$ on ominaisuus säätöjärjestelmän laadulle ja säädettävälle järjestelmälle. Se voi olla määritelty tuotestandardin tai -sertifikaatin mukaan. Tuotestandardi ottaa huomioon säätimen lisäksi säädettävän järjestelmän

- $\theta_{SP} + \Delta\theta_C$ on vastaava lämpötilan asetusarvo
- θ_R mahdollistaa ääriehtojen (kuten esimerkiksi ilmaston) huomioimisen.
(SFS EN 15232 2008, 25.)

2.4.5 Lähestymistapa: korjauskerroin

Lähestymistapana voidaan käyttää korjauskerrointa silloin, kun säätöjärjestelmä vaikuttaa samanaikaisesti esimerkiksi aikaan ja lämpötilaan. Energiankulutus tai -tarve voidaan laskea kaavasta 3:

$$E = E_{PC} \cdot x_C \quad (3)$$

jossa E_{PC} = Energiankulutus vertailutapauksessa, jossa esimerkiksi järjestelmää on hallittu teoreettisesti, rakennusautomaatiojärjestelmät tai tekniset kiinteistönhoidon toiminnot eivät ole nykyisiä tai jos järjestelmän on oletettu olevan hallittavissa niin, että siitä on helppoa laskea energiatehokkuus (kWh)

x_C = Korjauskerroin, joka edustaa energiankulutuksen muutosta verrattuna vertailutapaukseen E_{PC}
(SFS EN 15232 2008, 25–26.)

Korjauskertoimen x_C arvot riippuvat säätöjärjestelmästä, mutta vaihtelevat myös ilmaston, rakennustyyppin jne. mukaan. Taulukoita tai kaavoja tulisi laatia esimerkiksi valtioiden rakennuskohteista, joista voitaisiin tunnistaa näiden parametrien vaikutukset korjauskertoimeen x_C . (SFS EN 15232 2008, 26.)

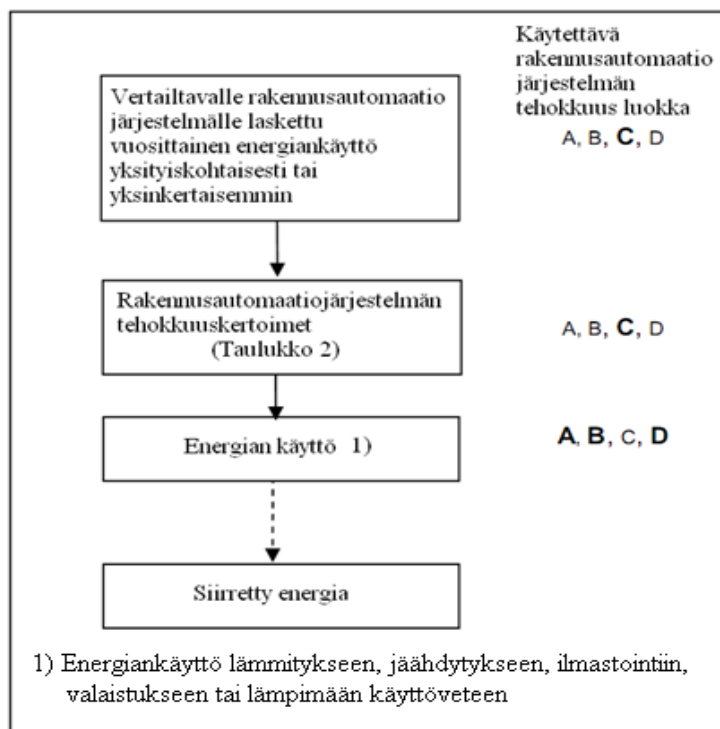
2.5 Rakennusautomaatiojärjestelmän tehokkuuskertoimiin perustuvat laskentamenetelmät

Rakennuksen energiankäyttö koostuu rakennuksen energiatarpeesta, kokonaislämpöhäviöistä ja järjestelmien käyttöön vaaditusta sähkö- tai lämpöenergiasta. Jokainen rakennukseen asennettu energiaa kuluttava järjestelmä tulisi arvioida oikeilla rakennusautomaatiojärjestelmän kertoimilla ottaen huomioon taulukossa 1 annetut korrelaatiokertoimet. (SFS EN 15232 2008, 42.)

Taulukko 1: Rakennuksen energiajärjestelmien ja rakennusautomaatiojärjestelmän kertoimien väliset suhteet (SFS EN 15232 2008, 43). Symbolien selitykset on esitetty myöhemmin tämän kappaleen kaavoissa 4 ja 5.

Energian käyttö		Energian tarve 1)		Järjestelmän häviöt 2)	Järjestelmien vaatima sähköenergia 3)	RA-järjestelmän kerroin	Huomautukset
Lämmitys	=	Q_{NH}	+	$Q_{H,loss}$		$f_{BAC,hc}$	
			+		$W_{H,aux}$	$f_{BAC,e}$	
Jäähdytys	=	Q_{NC}	+	$Q_{C,loss}$		$f_{BAC,hc}$	
			+		$W_{C,aux}$	$f_{BAC,e}$	
Ilmastointi	=				$W_{V,aux}$	$f_{BAC,e}$	
Valaistus	=				W_{light}	$f_{BAC,e}$	Valaistuksen vaikutusta tulisi arvioida standardin EN 15193 mukaan
1) Energiantarve lämmitykselle ja jäähdytykselle tulisi laskea EN ISO 13790 standardin mukaan 2) Energiahäviöt lämmitykselle tulisi arvioida EN 15316 standardin mukaan ja jäähdytykselle EN 15255 standardin mukaan 3) Järjestelmien käyttöön vaadittu energia tulisi laskea lämmitysjärjestelmille EN 15316, ilmastointijärjestelmille EN 15241 ja valaistukselle EN 15193 mukaan							

Koko laskentamenetelmä rakennusautomaatiojärjestelmän tehokkuuskertoimelle on esitetty kuviossa 3. Ensiksi täytyy valita vertailuluokka, jonka voi valita liitteen 1 taulukoista. Yleisimmin käytettävän vertailuluokka C:n vaatimukset löytyvät liitteen 2 taulukoista. Vertailukohteelle lasketaan vuosittainen rakennuksen energiajärjestelmien energiankäyttö joko yksityiskohtaisella tai yksinkertaistetulla tavalla. Käyttämällä vertailuluokan rakennusautomaation tehokkuusluokan kertoimia, jotka ovat taulukossa 2, voidaan helposti laskea muiden luokkien rakennusautomaatiojärjestelmien energiankäyttö. Sen takia olennaiset tehokkuuskertoimet täytyy suhteuttaa keskenään. (SFS EN 15232 2008, 43.)



Kuvio 3: Rakennusautomaatiojärjestelmän tehokkuuskertoimen laskenta (SFS EN 15232 2008, 44).

Taulukko 2: Rakennusautomaatiojärjestelmien tehokkuuskertoimet sähkö- ja lämpöenergialle (Hyvärinen 2009, 8).

Asuinrakennukset - kaikki tyypit	D	C	B	A
	tehoton	tavan- omainen "D5"	edistynyt	tehokas
$f_{BAC, hc}$ Lämmitys- ja jäähdytysenergia	1,10	1	0,88	0,81
$f_{BAC, el}$ Valaistus- ja laitesähköenergia	1,08	1	0,93	0,92

Laskettaessa rakennusautomaatiojärjestelmien arvioitua energiansyöttöä eri järjestelmille tulisi käyttää rakennusautomaatiojärjestelmien tehokkuustekijöitä. Rakennusautomaatiojärjestelmän tehokkuusluokkaan liittyvä kokonaislämmitysenergia lasketaan kaavalla 4:

$$Q_{H,Tot,BAC} = (Q_{H,nd,B} + Q_{H,sys}) \cdot \frac{f_{BAC,HC}}{f_{BAC,HC,ref}} \quad (4)$$

jossa $Q_{H,Tot,BAC}$ = Kokonaislämmitysenergia, joka liittyy rakennusautomaatiojärjestelmän tehokkuusluokkaan (kWh)

$Q_{H,nd,B}$ = Rakennuksen lämmitysenergian tarve (kWh)

$Q_{H,sys}$ = Lämmitysjärjestelmän energiahäviöt (kWh)

$f_{BAC,HC}$ = Rakennusautomaatiojärjestelmän tehokkuuskerroin lämpöenergialle

$f_{BAC,HC,ref}$ = Rakennusautomaatiojärjestelmän tehokkuuskerroin vertailukohteen lämpöenergialle

(SFS EN 15232 2008, 44–45.)

Kokonaisjäähdytysenergia lasketaan kaavalla 4, mutta vastaavilla jäähdytykseen liittyvillä luvuilla. Lämmitysjärjestelmien vaatima sähköenergia, joka liittyy rakennusautomaatiojärjestelmän tehokkuusluokkaan, lasketaan kaavasta 5:

$$W_{H,aux,BAC} = W_{H,aux} \cdot \frac{f_{BAC,el}}{f_{BAC,el,ref}} \quad (5)$$

jossa $W_{H,aux,BAC}$ = Lämmitysjärjestelmien vaatima sähköenergia, joka liittyy rakennusautomaatiojärjestelmän tehokkuusluokkaan (kWh)

$W_{H,aux}$ = Lämmitysjärjestelmien vaatima sähköenergia (kWh)

$f_{BAC,el}$ = Rakennusautomaatiojärjestelmän tehokkuuskerroin sähköenergialle

$f_{BAC,el,ref}$ = Rakennusautomaatiojärjestelmän tehokkuuskerroin vertailukohteen sähköenergialle

(SFS EN 15232 2008, 44–45.)

Jäähdytys-, ilmastointi- ja valaistusjärjestelmien vaatima sähköenergia, joka liittyy rakennusautomaatiojärjestelmän tehokkuusluokkaan, voidaan laskea kaavasta 5 käyttämällä puolestaan niihin liittyviä vastaavia lukuarvoja. (SFS EN 15232 2008, 44–45.)

2.6 Rakennusautomaatiojärjestelmien ohjelmistojen energiatehokkuus

Rakennusautomaatiojärjestelmien ohjelmistot voidaan jakaa seuraaviin kolmeen energiatalousluokkaan:

- Perustoiminnot, jossa rakennusautomaatiojärjestelmästä saadaan koneiden ja laitteiden aikaohjaukset ja ristiriitahälytykset sekä raja-arvohälytykset.
- Laajennetut perustoiminnot, jossa rakennusautomaatiojärjestelmästä saadaan perustoimintojen lisäksi kulutusraportointi, mittausseuranta ja -historia sekä LTO-hyötysuhdelaskenta ja -hälytys.
- Laajat energiataloudelliset toiminnot, jossa rakennusautomaatiojärjestelmästä saadaan laajennettujen perustoimintojen lisäksi lämmityksen optimointi, huipputehon valvonta ja rajoitus, erilaiset analysointiohjelmat ja ulkoisen tukipalvelun käyttömahdollisuus sekä kulutusraportoinnin ohessa erilaisten tunnuslukujen laskentaa.

Jaottelu on vain suuntaa antava, koska eri järjestelmätoimittajien ohjelmistot ja -paketit saattavat poiketa oheisesta jaottelusta. Ohjelmallisten toimintojen lisäksi kenttäinstrumentointi tulee toteuttaa ohjelmien vaatimuksia vastaavaksi. Ohjelmistojen valinnassa tulee huomioida käyttö- ja ylläpitohenkilöstön mahdollisuudet niiden hyödyntämiseen. (ST 710.11 2004, 3–4.)

3 Suunnittelun ja käytön merkitys

3.1 Suunnittelun tärkeys kohteissa

Onnistuneet sähkö-, automaatio- ja LVI-suunnitelmat ovat edellytys sille, että tilaaja saa mitä haluaa. Ongelmana voidaan pitää sitä, että suunnittelija ei ole tilaaja eikä tilaaja ole suunnittelija. Suunnittelijan olisi ymmärrettävä tilaajan, joka ei välttämättä ymmärrä teknisistä ratkaisuksista mitään, toiveet keskustelemalla ja kertomalla tälle erilaisista ratkaisuvaihtoehdoista. Suunnitteluun on panostettava paljon, koska valmiiksi tehtyjen ratkaisuiden korjaaminen on huomattavasti kalliimpaa kuin suunnitelmien tekeminen huolellisesti. (Piikkilä 2004, 1-1 – 1-3.) Suunnittelijan tulisi myös osata mitoittaa erilaiset LVI-laitteet oikeankokoisiksi, sillä lämmitys- ja jäähdytyslaitteiden ylisuuret mitoitusmitat ovat energiatehottomia ja kalliita ratkaisuja.

3.2 Käyttöönottoon liittyvät tarkastukset ja käyttäjien opastus

Rakennusautomaatiourakoitsija pitää omat toimintakokeensa ennen virallisia toimintakokeita, ja tarkastaa suunnittelijan ja tilaajan kanssa kohteen rakennusautomaation toiminnan. Rakennusautomaatiourakoitsijan tulisi omissa toimintakokeissaan kiinnittää erityisesti huomiota siihen, että

- kaksi- ja kolmitieventtiilit on asennettu oikein
- säätöventtiilit ja peltimoottorit toimivat oikein
- säätöpiirit toimivat oikein
- anturitkin testataan.

Puhaltimien ja pumppujen pyörimissuunnat tulisi tarkastaa sähköurakoitsijan kanssa, koska rakennusautomaatiourakoitsija ei Suomessa yleisesti testaa 230 VAC:n laitteita.

Kiinteistön energiankulutuksen tehostamiseksi tulee kiinteistön käyttäjille (myös päivä- ja iltakäyttäjät) opastaa, kuinka he voivat käytännön toimillaan vähentää kiinteistön energiankulutusta. Pääsääntöisesti heille tulisi kertoa vähintään

- valaistuksen käyttöajoista ja ohjeista
- ilmanvaihdon käyttöajoista ja ongelmatilanteiden toimintaohjeista
- veden käyttösuosituksista (erityisesti pesutiloissa)

- tilojen oikeista lämpötiloista ja ongelmatilanteiden toimintaohjeista. (Motiva Oy 2009, Käyttäjien opastus.)

3.3 Huollon tärkeys kohteissa

Oikeaoppisella ja säännöllisellä kohteen LVI-laitteiden huollolla varmistetaan, että toimilaitteet toimivat oikein. Seuraavassa on listattu huoltohenkilökunnalle tarkoitettuja huollon tehtäviä.

- Ilmastointikoneissa tulisi tarkastaa, että pellit aukeavat kokonaan, jolloin ulkoa saadaan tarpeeksi ilmaa, ja että ne sulkeutuvat tiiviisti, jolloin vähennetään ilmavuotoja.
- Puhaltimet tulisi huoltaa tiettyjen käyttöaikojen jälkeen. Käyttöaikoja voidaan tarkastella valvomosta IV-koneiden prosessikaavioista.
- Hihnakäyttöisten puhaltimien ja pyörivien LTO-roottoreiden hihnojen kireys tulisi tarkistaa.
- Likaiset suodattimet tulisi vaihtaa puhtaisiin säännöllisesti; usein suodattimien ylitse mitataan paine-eroa, jonka kasvaessa tiettyyn raja-arvoon tiedetään, että suodatin on likainen ja tehoton.

Lisäksi LVI-ammattilaisen tulisi säännöllisesti puhdistaa patterit ja muut lämpöä siirtävät komponentit ja ilmastointikanavat niitä koskevien määräysten mukaisesti. (Sugarman 2007, 265.)

3.4 Energiankulutus ja seuranta

3.4.1 Lämmitysenergiankulutuksen normeeraus

Lämmitysenergian kulutuksen normeerauksen tavoitteena on ohjata kohti energiatehokasta toimintaa ja palvella rakennuksen energiankulutuksen seurantaa, jossa kannattaa huomio kiinnittää normeerattuihin kulutustrendeihin (Motiva Oy 2010, Kulutuksen normitus).

3.4.1.1 Lämmitystarveluvut

Lämmitystarveluvun avulla voidaan verrata saman rakennuksen eri kuukausien ja vuosien lämmitysenergiankulutusta tai verrata eri paikkakunnilla sijaitsevien rakennusten kulutuksia. Lämmitystarveluvun käyttö perustuu siihen, että lämmityksen energiankulutus on verrannollinen sisä- ja ulkolämpötilan erotukseen.

Lämmitystarveluku saadaan laskemalla yhteen jokaisen kuukauden päivittäisten sisä- ja ulkolämpötilojen erotus. Yleisimmin käytetään lämmitystarvelukua S17, joka lasketaan oletetun sisä- ja ulkolämpötilan vuorokausikeskiarvon erotuksen perusteella. Oletettu kantaluksi +17 °C olettaa, että jäljelle jäävä lämmitystarve saadaan ilmaislämpöenergiana sisäisistä (valaistus, ihmiset ja laitteet) ja ulkoisista lämmönlähteistä (auringosta). Kuukauden lämmitystarveluku on vuorokausien lämmitystarvelukujen summa ja vuoden lämmitystarveluku on vastaavasti kuukausittaisen lämmitystarvelukujen summa. Vertailuarvona eli normaalivuoden lämmitystarvelukuna käytetään vuosien 1971–2000 keskimääräistä -lukua, joka löytyy ilmatieteenlaitoksen internet-sivuilta. Lämmitystarveluvun laskennassa ei oteta huomioon päiviä, joiden keskilämpötila on keväällä yli +10 °C ja syksyllä yli +12 °C, jolloin oletetaan että, kiinteistöjen lämmitys lopetetaan ja aloitetaan päivittäin ulkolämpötilan ylittäessä tai alittaessa mainitut rajat. (Ilmatieteen laitos 2009, Lämmitystarveluku.)

3.4.1.2 Lämmitysenergian kulutus

Lämmitysenergian kulutus lasketaan Motivan internet-sivuilta löytyvien ohjeiden mukaan. Verrattaessa saman rakennuksen lämmitysenergian kulutusta eri ajankohtina voidaan käyttää kaavaa 6:

$$Q_{\text{norm}} = \frac{S_{N \text{ vpkunta}}}{S_{\text{toteutunut vpkunta}}} \cdot Q_{\text{toteutunut}} + Q_{\text{lämmin käyttövesi}} \quad (6)$$

jossa

Q_{norm}	= Rakennuksen normitettu lämmitysenergiankulutus (kWh)
$S_{N \text{ vpkunta}}$	= Normaalivuoden tai -kuukauden lämmitystarveluku vertailupaikkakunnalle
$S_{\text{toteutunut vpkunta}}$	= Toteutunut lämmitystarveluku vertailupaikkakunnalle vuosi- tai kuukausitasolla
$Q_{\text{toteutunut}}$	= Rakennuksen tilojen lämmittämiseen kuluva energia ($Q_{\text{toteutunut}} = Q_{\text{kok}} - Q_{\text{lämmin käyttövesi}}$) (kWh)

Q_{kok} = Rakennuksen kokonaislämmitysenergian kulutus (kWh)

$Q_{\text{lämmin käyttövesi}}$ = Käyttöveden lämmittämiseen vaadittu energia (kWh)

(Motiva Oy 2010, Laskukaavat: Lämmitysenergiankulutus.)

Kun rakennusten kulutukset normeerataan valtakunnalliseen vertailupaikkakuntaan Jyväskylään, voidaan eri puolilla Suomea sijaitsevien rakennusten lämmitysenergian ominaiskulutuksia vertailla. Rakennuksen normeerattu energiankulutus valtakunnalliseen vertailupaikkakuntaan Jyväskylään saadaan vuosi- tai kuukausitasolla laskemalla kaavan 7 mukaan:

$$Q_{\text{norm}} = k_2 \cdot \frac{S_{\text{N vpkunta}}}{S_{\text{toteutunut vpkunta}}} \cdot Q_{\text{toteutunut}} + Q_{\text{lämmin käyttövesi}} \quad (7)$$

jossa k_2 = Paikkakuntainen korjauskerroin Jyväskylään

Muut kaavan muuttujat ovat samoja kuin kaavassa 6.

(Motiva Oy 2010, Laskukaavat: Lämmitysenergiankulutus.)

Haluttaessa vertailla saman alueen rakennuksien lämmitysenergian ominaiskulutuksia normeerataan kulutukset oman alueen vertailupaikkakuntaan. Rakennuksen normeerattu energiankulutus oman alueen vertailupaikkakuntaan saadaan vuosi- tai kuukausitasolla kaavan 8 mukaan:

$$Q_{\text{norm}} = k_1 \cdot \frac{S_{\text{N vpkunta}}}{S_{\text{toteutunut vpkunta}}} \cdot Q_{\text{toteutunut}} + Q_{\text{lämmin käyttövesi}} \quad (8)$$

jossa k_1 = Paikkakuntainen korjauskerroin vertailupaikkakuntaan

Muut kaavan muuttujat ovat samoja kuin kaavassa 6.

(Motiva Oy 2010, Laskukaavat: Lämmitysenergiankulutus.)

Rakennuksen sijaintipaikkakunnan normaalivuoden lämmitystarveluku voidaan laskea, jos rakennuksen rakennusautomaatiojärjestelmän laskema kiinteistökohtainen lämmitystarveluku tiedetään. Kaavan 9 avulla voidaan laskea paikkakunnan normaalikuukauden tai -vuoden lämmitystarveluku:

$$S_{\text{N kunta}} = \frac{S_{\text{N vpkunta}}}{k_1} \quad (9)$$

jossa $S_{\text{N kunta}}$ = Kunnan normaalikuukauden tai -vuoden lämmitystarveluku

Muut kaavan muuttujat ovat samoja kuin kaavoissa 6 ja 8.

(Motiva Oy 2010, Laskukaavat: Lämmitysenergiankulutus.)

Kun oman paikkakunnan lämmitystarveluku tiedetään, voidaan laskea rakennuksen normeerattu energiankulutus kaavan 10 avulla:

$$Q_{\text{norm}} = \frac{S_{N \text{ kunta}}}{S_{\text{toteutunut kunta}}} \cdot Q_{\text{toteutunut}} + Q_{\text{lämmin käyttövesi}} \quad (10)$$

jossa $S_{\text{toteutunut kunta}}$ = Rakennusautomaatiojärjestelmästä saatava toteutunut lämmitystarveluku kyseisessä kunnassa

Muut kaavan muuttujat ovat samoja kuin kaavoissa 6 ja 9.

(Motiva Oy 2010, Laskukaavat: Lämmitysenergiankulutus.)

3.4.1.3 Lämpimän käyttöveden kulutus

Käyttöveden lämmittämiseen tarvittava energia erotetaan normitettavasta lämmitysenergiankulutuksesta, koska se ei riipu ulkolämpötilasta. Käyttöveden lämmittämiseen tarvittavaan energiaan sisältyvät käyttöveden lämmittämiseen vaadittu energia ja käyttöveden kiertojohdon lämpöhäviöt, jotka voivat olla vanhoissa rakennuksissa yhtä suuria kuin käyttöveden lämmittämiseen vaadittu energia. Rakennuksen energiatodistuksen laskemiseen vaadittu lämpimän käyttöveden energiankulutus voidaan lukea kiinteistön mittarista, mutta jos ei tiedetä kuin kiinteistön lämpimän käyttöveden kulutus, voidaan sen lämmittämiseen kulutettu energiamäärä laskea kaavan 11 avulla:

$$Q_{\text{lkv}} = 58 \cdot V_{\text{lkv}} \quad (11)$$

jossa Q_{lkv} = Lämpimän käyttöveden energiankulutus (kWh/vuosi)
 58 = Veden lämmittämiseen tarvittava energiamäärä vesikuutiota kohden (kWh/m³), kun $\Delta t = 50$ °C
 V_{lkv} = Kulutettu lämpimän käyttöveden määrä (m³/vuosi)
 (Motiva Oy 2010, Laskukaavat: Lämmin käyttövesi.)

Kohteessa, jossa ei ole mitattu lämpimän käyttöveden kulutusta, voidaan se arvioida olevan asuinrakennuksissa 40 % ja muissa rakennuksissa 30 % veden kokonaiskulutuksesta (Motiva Oy 2010, Laskukaavat: Lämmin käyttövesi.) Kaavalla 12 voidaan laskea lämpimän käyttöveden lämmittämiseen kuluva energia hieman

tarkemmin kuin kaavalla 11, koska siihen voidaan määrittää lämmitettävän veden lämpötila t_1 :

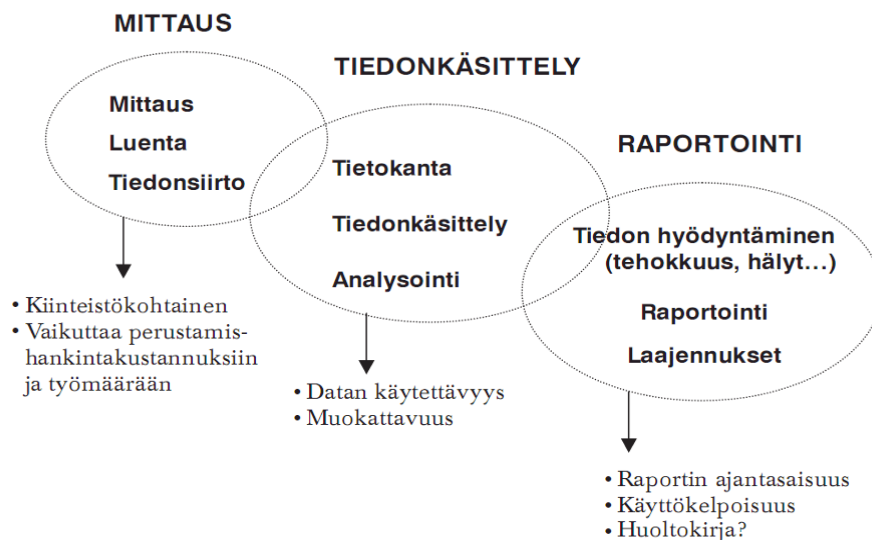
$$Q_{\text{lämmin käyttövesi}} = \frac{\rho \cdot c_p \cdot V \cdot (t_2 - t_1)}{3600} \quad (12)$$

jossa	ρ	= Veden tiheys (1000 kg/m ³)
	c_p	= Veden ominaislämpökapasiteetti (4,2 kJ/°C)
	V	= Veden kulutus (m ³)
	t_2	= Lämmitetyn veden lämpötila (55 °C)
	t_1	= Lämmitettävän veden lämpötila (5-10 °C)
	3600	= Yksikkömuunnoskerroin (kJ→kWh)
	(Motiva Oy 2010, Laskukaavat: Lämmin käyttövesi.)	

IV-koneen sähköenergian kulutukseen on perehdytty kappaleessa 3.4.3.2. ”Kiinteistön osajärjestelmien energiankulutuksen mittaus”.

3.4.2 Kulutusseurantaan siirtyminen

Tällä hetkellä markkinoilla on lukuisia erilaisia kulutusseurantaohjelmistoja ja -palveluita, jotka ovat toinen toistaan monipuolisempia. Energiankulutuksen seurantaan ryhtyessä tulisi huomioida kuviossa 4 esitetyt kokonaisuudet, joiden pohjalta seurantaohjelma tai -palvelu valitaan.



Kuvio 4: Kulutusseurantaohjelman tai -palvelun valintaan vaikuttavat kokonaisuudet (Motiva Oy 2001, 9).

3.4.2.1 Kiinteistön mittausten ja säätölaitteiden tekninen taso

Ensimmäisenä tulisi selvittää seurattavien kohteiden mittaustapa sekä se, onko kiinteistön sähkö-, lämpö- ja vesimittarit mahdollista kaukolukea vai pitääkö ne käydä paikalla lukemassa. Raportoitaessa manuaalisesti luettua dataa tulee huomioida, että mittaustulokset voivat olla vanhaa tietoa. Joissakin tapauksissa mittausten instrumentointi kaukoluettavaksi on hyvä ratkaisu tehostamaan ja vähentämään raportointivirheitä. Kulutusseurantaa suunniteltaessa on myös syytä arvioida, riittävätkö resurssit mittausdatan keruuseen, järjestelmään syöttämiseen ja tulosten analysointiin vai ostetaanko kulutusseurantapalvelu joltain yritykseltä, jolla on tarvittavat työkalut ja osaaminen. (Motiva Oy 2001, 9–10.)

3.4.2.2 Mittausdatan tallennus ja käsittely

Tiedon käsittelyvaiheessa tulisi tietää, mitä tietoja halutaan seurata ja miten saatua dataa voidaan käyttää hyväksi. Mittausdatan tallentamisessa ja käsittelyssä eri ohjelmat voivat poiketa toisistaan; data voi sijaita joko palveluntarjoajan palvelimella, valvomon tietokannassa tai tietokoneen kovalevyllä ohjelmatiedostossa. Tiedon tarkkuuteen ja ajantasaisuuteen tulee kiinnittää huomiota; normaalisti riittää tunti-, päivä- tai kuukausitarkkuus, mutta jos poikkeamat tai ongelmat halutaan havaita mahdollisimman aikaisessa vaiheessa, tulee siihen olla tekniset edellytykset. Hälytys ei ole reaaliaikainen, jos se tulee kuukauden myöhässä harvan luentatiheyden takia. (Motiva Oy 2001, 10.) Datan tallennusmuodolla on väliä, koska monet yritykset tarjoavat palveluitansa internetissä, jonka edellytyksenä on tietokantaan perustuva data, koska mittausdatan käsittely on näin helppoa ja tiedon siirtäminen nopeaa esimerkiksi valvomon ja palvelun tarjoajan palvelimen välillä.

3.4.2.3 Kulutustiedon analysointi ja raportointi

Kulutusseurannan ollessa yrityksen rutiinitoimintaa raportit ovat prosessin tärkein osa, ja siksi olisi tärkeää, että ne olisivat käyttökelpoisia. Palautetiedot energianseurannasta eri tahoille kuten kiinteistönhoitajille, teknisen toimen päälliköille ja kiinteistöjen omistajille tulisi antaa eri tavoilla esitettynä. Järjestelmien tuottamat raportit voidaan tulostaa valvomoista, joissa on erilaiset määrät kiinteistön perustietoa, kulutuksen grafiikkaa ja vertailua sekä hälytyksiä. Internet-selaimella käytettävien raporttien valikoima ja muokattavuus sekä mahdollisuus tietojen tarkasteluun on suurempi kuin paperitulosteissa. Tyypillisesti internet-palveluissa mittausdata sijaitsee palvelun

tarjoajan verkkopalvelimella ja asiakkaalla on pääsy tietoihin internetin kautta. Valittaessa kulutusseurantaohjelmaa tai -palvelua tulisi raportointitapoja vertailla, jolloin saataisiin sopeutettua kiinteistöjen tiedot kulloisenkin tarpeen mukaisesti. (Motiva Oy 2001, 10–11.)

3.4.3 Kiinteistön energiankulutuksen mittaus

3.4.3.1 Rakennusautomaatiojärjestelmään liitettävät mittarit

Rakennusautomaatiojärjestelmään voidaan liittää eri jakelulaitosten sähkö- ja lämpöenergian sekä veden päämittarit. Nykyään on myös lisääntynyt huoneisto- ja tilakohtaisten vesimittareiden (lämmön- ja kylmävesimittarit) ja lämpömäärämittareiden asennus kohteisiin, joissa halutaan kontrolloida ja eritellä eri vuokralaisten ja asukkaiden veden- ja lämmönkulutusta. Menetelmällä voidaan vaikuttaa vuokralaisten yleisiin kulutustottumuksiin ja saavuttaa heille säästöjä kulutuksen muutoksesta jopa 30 % (Siemens 2008, Huoneistokohtaiset vesimittarit.) Esimerkiksi Siemensiltä on tullut markkinoille langaton huoneistokohtainen vesimittarijärjestelmä, jossa vesimittareiden lisäksi tarvitaan kommunikointiyksikkö, joka kerää kulutustiedot ja lähettää ne tarvittaessa internetin kautta isännöitsijälle tai huoltoyhtiölle. Järjestelmän hyvinä puolina voi pitää langattomuutta ja sitä, että vesivuodot voidaan havaita aikaisessa vaiheessa, kun vedenkulutuksen muutokset ovat helposti havaittavissa. Järjestelmästä voidaan lukea nykyinen, kumulatiivinen, kuukausittainen ja maksimikulutus. (Siemens 2008, Huoneistokohtaiset vesimittarit.)

Energiayhtiöt laskuttavat kiinteistön omistajaa sähkö-, lämpöenergian sekä veden päämittareiden lukeman perusteella, jotka saadaan joko rakennusautomaatiojärjestelmästä, lukemalla mittareista tai energiayhtiöiden asentamien etäluentalaitteiden avulla. Kiinteistönomistaja voi puolestaan laskuttaa vuokralaisiaan lukemalla raportteja rakennusautomaatiojärjestelmään liitettyjen tilakohtaisten vesimittareiden perusteella. Vesimittareita on markkinoilla paljon. Ne eroavat toisistaan impulssitiheyden (esim. 10 l/imp) ja kaapeloinnin puolesta. Suunnitteluvaiheessa tulisikin tarkistaa vesimittarityypin kaapeloinnin maksimipituudet, koska ne eivät joissakin mittareissa saa ylittää 10 m:ä.

3.4.3.2 Kiinteistön osajärjestelmien energiankulutuksen mittaus

Kiinteistön rakennusautomaatiojärjestelmään on yleensä liitetty kiinteistön suurimmat kulutuskohteet, joten niiden energiankulutusta on mahdollista seurata mittausten ja tilatietojen kautta. Mikäli haluttaisiin saada tarkemmin tietoon, miten kiinteistön talotekniset järjestelmät toimivat ja miten niiden tavoitearvot toteutuvat, olisi kiinteistö mittaroitava niin, että voitaisiin mitata osajärjestelmien energiankulutusta.

IV-kojeiden sähkönkulutus voidaan laskea, kun tiedetään kojeen ilmavirta, käyttöaika sekä kojeen ominaissähkäteho. Kojen ilmamäärän vaihdellessa on rakennusautomaatiojärjestelmän mittauksista laskettava keskimääräinen ilmavirtaus. Seuraava kaava 13 on esimerkkinä ilmanvaihdon sähkönkulutuksen laskemiseen:

$$W_{\text{ilmanvaihto}} = \sum P_{\text{es}} \cdot q_v \cdot \Delta t \quad (13)$$

jossa

$W_{\text{ilmanvaihto}}$	= Puhaltimen tai IV-koneen sähköenergian kulutus (kWh)
P_{es}	= Puhaltimen tai IV-koneen ominaissähkäteho (kWh/m ³ /s)
q_v	= Puhaltimen tai IV-koneen ilmavirta (m ³ /s)
Δt	= Puhaltimen tai IV-koneen käyttöaika (h)

(D5 Suomen Rakennusmääräyskokoelma 2007, 36.)

Ilmanvaihtokoneiden lämmitysenergian kulutuksen ja energiatalouden kannalta keskeinen tekijä on LTO-laitteiden toimivuus, joka varmistetaan oikealla virityksellä ja hyötysuhteen seurannalla. LTO:n hyötysuhteen seuranta tapahtuu asettamalla valvomosta historiaseurantaan lämpötilojen mittauspisteitä. Lämpötilahyötysuhde ulkoilmaan voidaan laskea kaavalla 14 ja poistoilmaan kaavalla 15 (kaavat eivät ole kondensoiviin tilanteisiin):

$$\eta_U = \frac{(T_S - T_U)}{(T_P - T_U)} \quad (14)$$

jossa

η_U	= LTO-hyötysuhde ulkoilmaan
T_S	= Tuloilman lämpötila LTO:n jälkeen (°C)
T_U	= Ulkoilman lämpötila (°C)
T_P	= Poistoilman lämpötila ennen LTO:ta (°C)

(ST 710.10 2007, 6.)

$$\eta_P = \frac{(T_S - T_{PU})}{(T_P - T_U)} \quad (15)$$

jossa η_P = Poistoilman lämpötila LTO:n jälkeen ulos (°C)

T_{PU} = Ulkoilman lämpötila (°C)

Muut kaavan muuttujat ovat samoja kuin kaavassa 14.

(ST 710.10 2007, 6.)

LTO:n hyötysuhteen seurannan kannalta on tärkeää tietää saavutettavissa oleva hyötysuhde, joko laitetoimittajan tai suunnittelijan toimesta. Se voidaan myös mitata ideaaliolosuhteissa prosessin toimiessa oikein esimerkiksi vastaanottotarkastuksissa. Huurtumisenesto tulisi tehdä paine-ero mittauksena lämmönsiirtimen poistoilman ylitse, jolloin paine-eron kasvaessa ajettaisiin sulatustoiminto päälle. Käyttäjä voi parantaa vuosihyötysuhdetta huomattavasti trimmaamalla huurteeneston asetuksia kohdalleen esimerkiksi trend-seurantaohjelman avulla. (ST 710.10 2007, 6.)

Kylmiöiden, pakastimien ja rakennusautomaatiojärjestelmän ohjaamien sähkölaitteiden, kuten valaistuksen ja saattolämmitysten energiankulutukset voidaan laskea käyttöajan ja laitteiden käsin mitatun sähkötehon perusteella. Puolestaan suuret kulutuskohteet, kuten jäähdytyskoneikot ja laitoskeittiöt tulisi varustaa omin sähköenergiamittarein ja liittää rakennusautomaatiojärjestelmään. Ne voidaan laskea myös helposti sähkökeskukselta, mikäli niiden syötöt on keskitetty samaan lohkoon (käsin mitattu sähköteho) ja niiden käyttöajat tiedetään.

Näistä osajärjestelmien mitatuista tai lasketuista energiankulutuksista tulisi tehdä kulutusraportit, joissa tulisi vertailla mitattua kulutusta suunniteltuun kulutukseen. Näin saadaan helposti selville, minkä järjestelmän kulutuksen muutos aiheuttaa poikkeaman kiinteistön kokonaiskulutukseen, ja voidaan ryhtyä korjaamaan tätä järjestelmää. Samalla myös koko kiinteistön kulutuksen ennustettavuus on hyvin luotettavaa ja korjaukset voidaan kohdistaa poikkeaman aiheuttajaan nopeasti.

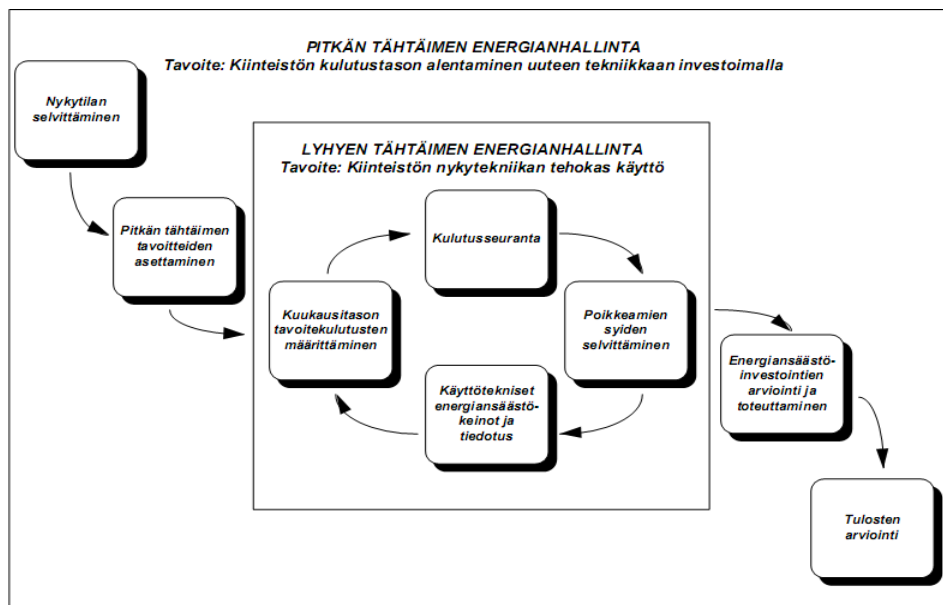
Käyttäjien erilaisten toimenpiteiden, kuten käyttöaika- ja asetusarvojen, vaikutusta kokonaiskulutukseen ja käyttökustannuksiin voidaan vielä paremmin havainnollistaa, jos mitatuille järjestelmille lasketaan keskimääräinen käyttökustannus rakennusautomaatiojärjestelmässä (energian hinnan ja -kulutuksen avulla), joka

näytetään sen grafiikkakaaviossa. Kun käyttäjä muuttaa käyttöaikaa tai asetusarvoa, järjestelmä laskee annettujen tietojen avulla uuden käyttökustannustiedon, jolloin nähdään suoraan, mikä vaikutus kyseisellä käyttötoimenpiteellä on. Käyttäjien on myös helppoa nähdä, mitkä kiinteistön järjestelmät ovat merkittäviä käyttökustannuksien muodostajia ja kohdistaa huomionsa niihin. Myös kiinteistön isännöitsijän on helpompi seurata raporteissa kiinteistön käyttökustannusten muodostumista ja tarvittaessa puuttua niihin. (ST 710.10 2007, 8.)

3.4.4 Energianseuranta

Kiinteistön energianhallinta voidaan jaotella pitkän ja lyhyen tähtäimen toimintoihin. Lyhyen tähtäimen energianhallinnan päätavoitteena on havaita energiankulutukseen vaikuttavat käyttötekniset virheet, laite- ja järjestelmäviat sekä mahdollisuuksien mukaan selvittää ja ennakoida niitä. (Leskinen, Mustakallio & Paiho 2000, 27.) Erilaiset olosuhde- ja toiminnallisuusmittarit ovat hyödyllisiä työkaluja lyhyen tähtäimen energianhallinnassa. Valvomon grafiikkakaaviosta voidaan tarkastella mitattujen tilojen olosuhteita, kuten esimerkiksi lämpötilaa, kosteutta ja hiilidioksidipitoisuutta. Poikkeamaolosuhteiden esiintyessä tilat voidaan helposti paikantaa rakennuksesta, ja tarvittaessa tarkastella mittaushistoriasta poikkeamien syntymisajankohtaa tai esiintymistiheyttä. Toiminnallisuusmittari voi olla puolestaan valvomossa esimerkiksi ilmastointikoneen grafiikkakaavio, josta voidaan tarkastella IV-koneen suorituskykyä. (Ihasalo 2008, 9–12.)

Pitkän tähtäimen energianhallinnan päätavoitteena on vaikuttaa energiankäytön rakenteeseen esimerkiksi pitkävaikutteisten energiasäästöinvestointien tai käyttöhenkilöstön koulutuksen avulla. Kiinteistön energianhallinnan jaottelu lyhyen ja pitkän tähtäimen energianhallintaan on esitetty kuviossa 5. Kulutusseuranta tuottaa lisäksi ajantasaista tietoa energiankulutuksesta vuosibudjetointia ja muita taloushallinnon tarpeita varten. (Leskinen, Mustakallio & Paiho 2000, 27.)



Kuvio 5: Kiinteistön lyhyen ja pitkän tähtäimen energiahallinta prosessien jaottelu (Leskinen, Mustakallio & Paiho 2000, 28).¹

3.4.4.1 Energiankulutuksen tavoitearvot

Energiankulutuksen seurannassa tulisi ensimmäisenä asettaa tavoitearvot. Ne määrittelevät kiinteistön ominaisuudet huomioon ottaen kulutustason, jota voidaan pitää normaalina. Tavoitteiden asettamisen tulee perustua kyseisen kiinteistön fysikaalisiin ominaisuuksiin (Leskinen, Mustakallio & Paiho 2000, 27).¹ Arvio tavoitearvojen suuruusluokasta voidaan saada esimerkiksi suunnitteluvaiheen erilaisilla laskelmilla, aikaisempien vuosien kulutusarvion mukaan tai vertaamalla rakennustyyppiä vastaavaan kiinteistökannan kulutukseen, johon tulisi suhtautua kriittisesti, koska rakennukset ja niiden käyttöajat ovat hyvin yksilöllisiä. Suunnittelijoiden tekemissä määrittelyissä on huomioitava oikeiden sisäilmastovaatimusten mukaiset lämpötilat ja ilmvirrat sekä rakennuksen todelliset käyttöajat. (ST 710.10 2007, 3.) Tilanteissa, joissa tavoitearvoja on vaikeaa määrittää, tulisi tutkia kiinteistön kulutushistoriasta jaksoja, joiden kulutuksien tiedetään olevaan normaalilla tasolla (Leskinen, Mustakallio & Paiho 2000, 28–29).¹

Sähkön ja veden tavoitekulutusarvot määritetään jokaiselle kuukaudelle erikseen, koska kiinteistön käyttäytymisvaihtelee vuodenajoin vaikuttaen kulutustasoihin selvästi.

¹ Alkuperäinen lähde: Aho, I; Haajanen, J; Hoving, P; Kosonen, R; Marttila, M; Pirinen, A & Speeti, T. 1996. Asuinkerrostalojen ja toimistorakennusten energiahallinta. Espoo: VTT.

Lämmitysenergian tavoitearvojen laskennassa lähdetään liikkeelle kiinteistön käyttötavoista ja fysikaalisista ominaisuuksista. (Leskinen, Mustakallio & Paiho 2000, 28–29.)¹ Lähtötietoja tarvitaan esimerkiksi ikkunoista, ulkovaipan pinta-alasta ja lämmönläpäisykertoimista. Lisäksi tulisi huomioida sisäisten lämpökuormien vaikutuksia arvioimalla kiinteistön käyttäjien ja sähkölaitteiden lämpökuormia. (Leskinen, Mustakallio & Paiho 2000, 28–29.)

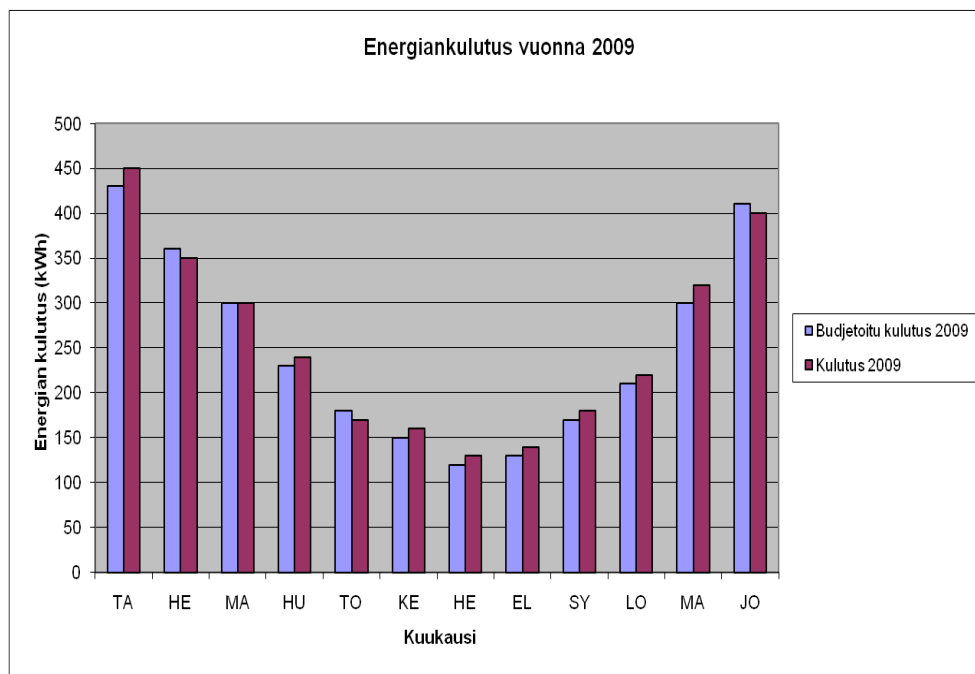
3.4.4.2 Kulutuspoikkeamien havaitseminen

Kuukausittaisten energiakulutuksen tavoitearvojen avulla voidaan havaita kiinteistössä kulutuspoikkeamat, jotka voivat johtua laite- tai käyttöteknisistä vioista sekä inhimillisistä virheistä. Sen lisäksi voidaan nähdä systemaattiset kuukaudesta toiseen toistuvat poikkeamat. (Leskinen, Mustakallio & Paiho 2000, 30.)¹ Seurannan perusjakso on yksi vuosi jaettuna 12 kuukauteen, koska jaottelulle on saatavissa lämmöntarveluvut, joilla lämpöenergiankulutus voidaan korjata. Normitetut tilastot päivitetään kuukausittain ja niitä verrataan tavoitteisiin. Poikkeamien esiintyessä menetellään seuraavasti:

- Rakennuksen käyttörytmin tarkastus ilmastoinnin käyntiajoista, jos ne ovat muuttuneet, korjataan tavoitekulutus vastaamaan uusia arvoja
- LTO:n toimivuuden tarkastaminen hyötysuhdetta seuraamalla tai lämpötilamittausten historiaseurannalla ja analysoinnilla
- Haetaan rakennuksesta lämpötilatasojen poikkeamia ja vaipan poikkeuksellisia häviöitä aukoista, kuten esimerkiksi avonaisista ikkunoista ja ovista
- Säättöjen virheiden tarkastaminen, esimerkiksi lämmityksen ja jäähdytyksen päällekkäisyydet ja muut ristiriitahälytykset (ST 710.10 2007, 3–4)
- Poikkeama energiankulutuksesta voi johtua myös lisääntyneestä vedenkulutuksesta, esimerkiksi vesihana on jäänyt auki tai kiinteistössä on putkivuoto. Esimerkiksi WC:n jatkuvan vuodon aiheuttamat kustannukset, kun turha vedenkulutus 62 500 l/viikko = 125 € (Mustasilta 2009, 21).

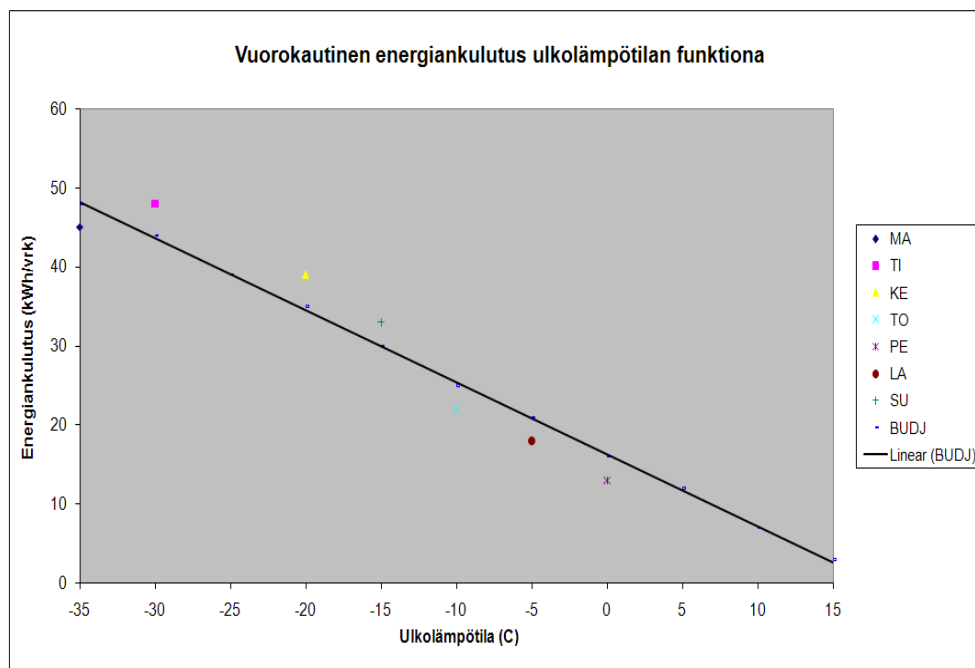
¹ Alkuperäinen lähde: Aho, I; Haajanen, J; Hoving, P; Kosonen, R; Marttila, M; Pirinen, A & Speeti, T. 1996. Asuinkerrostalojen ja toimistorakennusten energianhallinta. Espoo: VTT.

Työkaluina kulutuspoikkeamien havainnollistamisessa ovat erilaiset pylväsdiagrammit, mallina kuviossa 6 on energiankulutuksen pylväsdiagrammi, josta käyvät ilmi budjetoidut ja toteutuneet energiakulutuksen tasot.



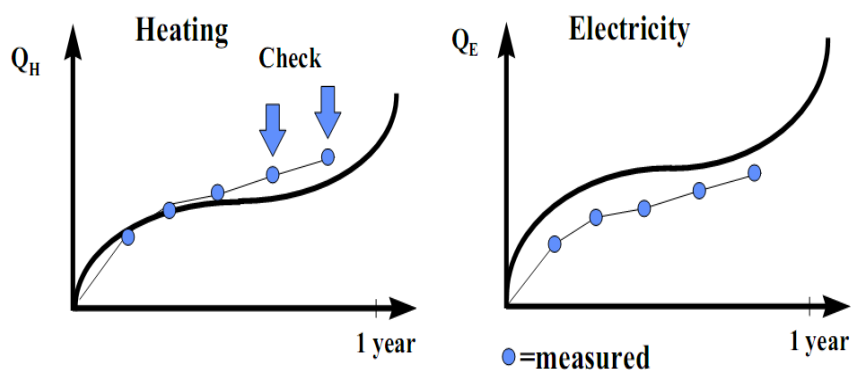
Kuvio 6: Energiankulutuksen pylväsdiagrammit seurantajaksolta 2009 (ST 710.10 2007, 4).

Toisena havainnollistamistapana voidaan käyttää esimerkiksi normeerattua rakennuksen lämmönkulutusta (viikontäivittäin tai viikoittain) ulkolämpötilasta riippuvina pisteinä, joiden kerääntymisen pitää noudattaa koordinaatistoon laskettua suoraa. Poikkeavasta kulutuksesta kertovat kaikki ne kulutuspisteet jotka eivät sijoitu tavoitesuoralle. (ST 710.10 2007, 4.) Kuviossa 7 on esitetty viikontäivittäinen lämmönkulutus ulkolämpötilan funktiona.



Kuvio 7: Vuorokautinen energiankulutus verrattuna budjetoituun tasoon ulkolämpötilan funktiona (ST 710.10 2007, 4).

Lisäksi voidaan käyttää seurantakäyrää, joka kuvaa vuoden aikana kumuloituvaa kulutusta, jolloin pystytään seuraamaan hyvin kokonaiskulutusta ja siinä tapahtuvia poikkeamia. Kulutuspoikkeamille on määritelty kuukausittaiset vaihtelurajat esimerkiksi $\pm 5\%$, joiden alittamisesta tai ylittämisestä annetaan ilmoitus. Kuvio 8 havainnollistaa kumuloidun kulutuksen seurantakäyriä, joista voidaan huomata kulutuspoikkeamat. (Leskinen, Mustakallio & Paiho 2000, 31.)



Kuvio 8: Vertailemalla toteutuneita- ja tavoitekulutuskäyriä, havaitaan järjestelmien energiankulutuksessa poikkeamat (Leskinen, Mustakallio & Paiho 2000, 31).

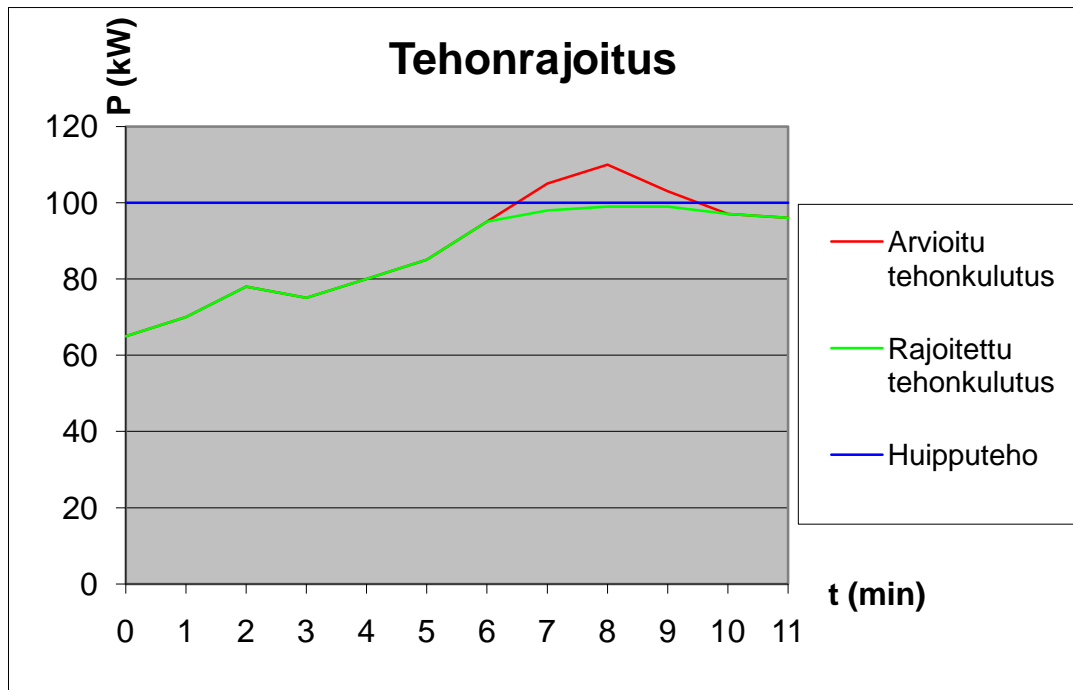
3.5 Tehonrajoitusten käyttö

Tehonrajoitusohjelma on rakennusautomaatiojärjestelmän hyödyllinen työkalu, jolla rajoitetaan sähkön-, lämmityksen- ja jäähdytyksen käyttöä tilanteissa, joissa lähestytään kiinteistön huipputehoja. Tehoraja voi johtua riittävyystekijöistä, mutta useimmin raja on määritelty kaupallisilla sopimuksilla energianmyyjän kanssa. Tällöin tehojen ylitykset johtavat joko tehomaksuihin tai sopimustehojen ja maksujen tarkastuksiin. Sopimusseuraamusten kustannusten kannalta kiinteistön tulee pyrkiä rajoittamaan huipputehon määrää, toisena seuraamuksena saadaan myös vähennettyä hieman energiankulutusta. Tehonrajoitusohjelma perustuu useimmiten ns. jaettuun haittaan, joka tarkoittaa että ensin valitaan ne ohjattavat prosessit, joissa yleensä voidaan sallia ajoittainen tehon rajoittaminen. Tämä edellyttää aina käyttäjän tiivistä mukanaoloa rajoituskohteiden valinnassa, lisäksi on huomioitava mahdolliset haittavaikutukset kun kuormia otetaan mukaan tehonrajoitukseen: turvallisuuteen liittyvät ajoluiskalämmitykset ja käytävävalaistukset on tarkkaan analysoitava ennen kytkentälistaan ottamista. Valituille kuormille määritellään maksimi ja minimi poiskytkentä-ajat ennen uutta poiskytkentää. (ST 710.10 2007, 6–7.)

Esimerkiksi Siemensin Desigo-ohjelmasta löytyy työkalu, jolla voidaan valvoa sähkönkäyttöä. Ohjelman ennustaessa, että sähkönkulutus menee yli huipputehon, aletaan kuormia kytkeä pois askeleittain. Rakennusautomaatiojärjestelmään on mahdollista kytkeä erillinen kiinteistön huipputehonmittari, jonka avulla huipputehoa on helpompaa valvoa. Virtamuuntajilla on myös mahdollista puuttua huipputehoon. Ne mittaavat keskuksen syöttökaapelin virtaa ja virran lähestyessä tiettyä asetettua ylärajaa, aletaan kuormia pudottaa rakennusautomaatiojärjestelmästä askeleittain pois. Tehonrajoitusohjelmien käyttö ei ole yleistä, eniten työkalua käytetään teollisuudessa, sairaaloissa ja kiinteistöissä, jotka ovat sopineet sähkölaskutuksen huipputehon mukaan. Tehonrajoitusohjelmien käyttö ei puutu energiayhtiön liiketoimintaan, koska saman työn voisi hoitaa vaikkapa kiinteistöhoitaja kytkemällä keskuksista kuormia pois. Tehonrajoitusohjelmat tekevät sen vain automaattisesti.

Tehonrajoitusohjelman toiminta perustuu siihen että se seuraa käytettävää tehoa, ja pyrkii ennustamaan esimerkiksi 15 minuutin jaksolla toteutuneen keskitehon. Tehorajan ylityksen ollessa ilmeinen käynnistyy rajoitustoiminta, jossa ohjelma kiertää laadittua

ohjauslistaa kytkien kuormia pois (tai osateholle) ja päälle laadittujen ehtojen mukaisesti, pyrkien tasaamaan tehohuippua. (ST 710.10 2007, 6.) Kuviossa 9 on esitettynä tehonrajoitusohjelman toiminta käytännössä.



Kuvio 9: Tehonrajoituksen toiminta, kun ohjelma on ennustanut toteutuvan tehonkulutuksen mittausten perusteella (ST 710.10 2007, 6).

4 Tilojen ilmanvaihdon ohjaus ja tehostus

Tuloilman säätö huonetasolta voidaan jakaa energiatehokkuuden mukaan seuraavasti:

- Ei säätöä, järjestelmä käy jatkuvasti (luokka D)
- Manuaalinen säätö, järjestelmää voidaan säätää käyttökytkimestä (luokka D)
- Aikasäätö, järjestelmä käy aikaohjelman mukaisesti (luokat B, C ja D)
- Läsnaolosäätö, järjestelmä käy, jos tiloissa ollaan (luokat A, B, C ja D)
- Tarvesäätö, järjestelmää säädetään antureilla, jotka mittaavat ilmanlaatuun liittyviä arvoja (CO₂ tai VOC). Mitattavat arvot täytyy sopeuttaa tilojen käyttötarkoitukseen (luokat A, B, C ja D).

(SFS EN 15232 2008, 35.)

4.1 Paikalla, tehostus, yö- ja poissaolo-ajan säädöt

Ilmanvaihdon tehostusta voidaan käyttää tiloissa, joissa on saastuttavia lähteitä, kuten esimerkiksi erilaisissa työpajoissa, asuinrakennuksissa puolestaan saunoissa ja liesissä. Käyttöajan tehostettu ilmavirta on vähintään 30 % suurempi kuin käyttöajan ilmavirta. Kun tilat eivät ole käytössä eikä ilmanvaihdolla ole erityisiä vaatimuksia kosteuden hallitsemiseksi, voidaan ilmavirtaa pienentää käyttöajan ilmavirtaa pienemmäksi. Poissaoloajan ilmavirta on enintään 60 % pienempi kuin käyttöajan ilmavirta. Öisin tiloista voidaan sammuttaa ilmastointi, mutta tuuletus tulee toteuttaa yön aikana. (D2 Suomen Rakennusmääräyskokoelma 2010, 10.)

Yleisimmin tiloihin asennetaan kellokytkimet, joilla käyttäjät voivat tehostaa ilmanvaihtoa. Toisena vaihtoehtona tiloissa voidaan käyttää läsnäoloilmaisimia. Rakennusautomaatiojärjestelmän aikaohjelma hoitaa puolestaan yö- ja poissaoloajan säätöjä. Ilmastoinnin tarpeellisella ohjauksella saavutetaan huomattavia energiansäästöjä, mutta tehostuskytkimet vaativat käyttäjältä niiden oikeanlaista käyttöä; mikäli kytkin jää tehostus asentoon vahingossa, kuluu energiaa turhaan.

4.2 CO₂-ohjattu ilmanvaihto

CO₂-anturi pystyy mittaamaan, että tiloihin viedään suositeltu määrä ulkoilmaa, sen sijasta että niihin vietäisiin liikaa kierrätettyä ilmaa (Prill 2000, 1). Sisäilmaston hiilidioksidipitoisuus tilan käyttöaikana on enintään 2160 mg/m³ (1200 ppm) (D2 Suomen Rakennusmääräyskokoelma 2010, 7). Lisäksi CO₂-ohjattu ilmanvaihto säästää energiaa säätämällä ilmanvaihtoa automaattisesti tilan ilmanlaadun mukaan.

Hiilidioksidianturit ovat kehittyneet niin, että koulujen ja toimistojen ilmanvaihtoa voidaan ohjata CO₂-mittauksin. Kohteissa joissa on saastuttavia lähteitä, ei anturi pysty arvioimaan tuloilman laatua. Saastuttavien lähteiden vaikutukset tulisikin poistaa tiloista, jolloin mittauksista saataisiin luotettavampia. Keinoja ovat:

- Kaluste- ja viimeistelymateriaalien valinta
- Kohde- tai erillispoistojen käyttäminen
- Alipaineistamalla saastuttavat tilat muihin tiloihin verrattuna.

(Prill 2000, 1–4.)

5 Energiansäästöjä puhaltimien, pumppujen ja valaistuksen ohjauksista

5.1 Puhaltimien ja pumppujen ohjaus ja säätö

Pumppujen ohjaus rakennusautomaatiojärjestelmästä voidaan jakaa energiatehokkuuden mukaan seuraavasti:

- Ei ohjausta (luokka D)
- Päälle / poisohjaus (luokat C ja D)
- Taajuusmuuttajalla säädettävä pumppu muuttuvalla paine-erolla (luokat A, B, C ja D)
- Taajuusmuuttajalla säädettävä pumppu vakio paine-erolla (luokat A, B, C ja D).

(SFS EN 15232 2008, 30.)

Puhaltimien ohjaus rakennusautomaatiojärjestelmästä voidaan puolestaan jakaa energiatehokkuuden mukaan seuraavasti:

- Ei ohjausta (luokat C ja D)
- Aikaohjaus (luokat A, B, C ja D)
- Taajuusmuuttajalla säädettävä puhallin tuloilman virtauksen tai paineen mukaan (luokat A, B, C ja D).

(SFS EN 15232 2008, 35.)

5.1.1 1- ja 2-nopeus oikosulkumoottorit

2-nopeus oikosulkumoottorit ovat kalliita yksinkertaisiin järjestelmiin, kuten pumppu- tai puhallinkäyttöihin. Lisäksi niiden varaosat maksavat paljon ja niitä löytyy vain 3-vaiheisina. 2-nopeuksista puhallinta ohjataan 1/2-nopeudella esimerkiksi kun ulkoilmaa käytetään tilojen viilentämiseen talviaikana esimerkiksi keittiöissä. Halvemmaksi tulisi vaihtaa 1-nopeuksinen puhallin, jonka pyörimisnopeutta säädettäisiin taajuusmuuttajalla.

ABB:ltä löytyy Excel-taulukoita, joilla voidaan laskea energia- ja kustannussäästöjä, kun kiinteistössä oleva pumppu tai puhallin muutetaan taajuusmuuttajakäyttöiseksi.

Fansave- ja Pumpsave-ohjelmistoja on yksinkertaista käyttää; kenttiin syötetään

nykyisen moottorin teknisiä arvoja kuten puhaltimen tyyppi (esimerkiksi keskipako- tai aksiaalipuhallin), virtaus, hyötysuhde, käyttöjännite, ottoteho, ja ohjausjärjestelmä. Lisäksi moottorille syötetään suunnitellut käyttöajat eri virtauksilla. Syötettyjen tietojen perusteella ohjelmaa laskee taajuusmuuttajalla säästettävän energian ja kustannusten takaisinmaksuajat. (ABB 2008.)

5.1.2 Puhaltimien ja pumppujen taajuusmuuttajakäytöt

Taajuusmuuttaja on yksi parhaiten tunnetuista energiaa säästävistä tuotteista.

Oikeanlaisella taajuusmuuttajan valinnalla voidaan leikata pumppujen ja puhaltimien sähköenergiankulutusta 60–70 % (Moss 2006, 189), lisäksi taajuusmuuttajien takaisinmaksuaika on lyhyt. Pumppujen ja puhaltimien käyttöikä pitenee taajuusmuuttajakäytössä, koska ne eivät ole jatkuvasti käytössä täydellä nopeudella. (Moss 2006, 189.) Taajuusmuuttajakäyttöjen muita hyötyjä ovat:

- Taajuusmuuttajan pienillä kierroksilla syntyy vähemmän ääntä
- Piiloutuneet asennuskustannukset poistuvat, koska tähtikolmiokäynnistimiä ym. komponentteja ei tarvita
- Pelti- ja venttiilimoottoreiden ei tarvitse pienentää puhaltimen tai pumpun virtausnopeutta suunnitteluarvoon. Tämä pienentää puolestaan pyörimisnopeuksia aina kun järjestelmä toimii suunnitelluissa olosuhteissa (Moss 2006, 189.)
- Taajuusmuuttajalla toteutetussa pumppuohjauksessa saadaan verkoston yli pidettyä vakiopainetta säätämällä pumpun kierroslukua (virtaaman pienentyessä paine pyrkii kasvamaan, jolloin pumpun kierroksia pienennetään)
- Ilmanvaihto saadaan toteutettua vakiopaineiseksi ja ilmapirta säädettyä tarpeen mukaan sopivaksi. Tämä lisää ilmastoinnin mukavuustunteita, kuten esimerkiksi vedoton ja meluton (ST 715.10 2006, 2–3.)

5.1.3 Puhaltimien ohjauksiin liittyviä säästötoimenpiteitä

Erillisiä poistopuhaltimia tulisi ohjata vain tarpeen vaatiessa. Hyviä keinoja on asentaa tiloihin liiketunnistimia, joiden havaitessa liikettä poistopuhaltimille annetaan käyntilupa. Esimerkiksi WC-tilojen poistopuhaltimia voitaisiin ohjata, kun tiloissa on valaistus päällä (käyttämällä valaisimia joissa liikkeen tunnistin mukana).

Säännöllistämällä ilmastointikoneiden käyntiä, jotka palvelevat auloja, käytäviä, eteisiä,

julkisia tiloja tai käyttämättömiä alueita voidaan päästä tuntuviin säästöihin. (Sugarman 2007, 265–266.) Tiloissa joissa on esimerkiksi saastuttavia lähteitä, huippuimureita ja poistopuhaltimia tulisi säätää paine-eron avulla, joka mitataan esimerkiksi tilan ja käytävän väliltä.

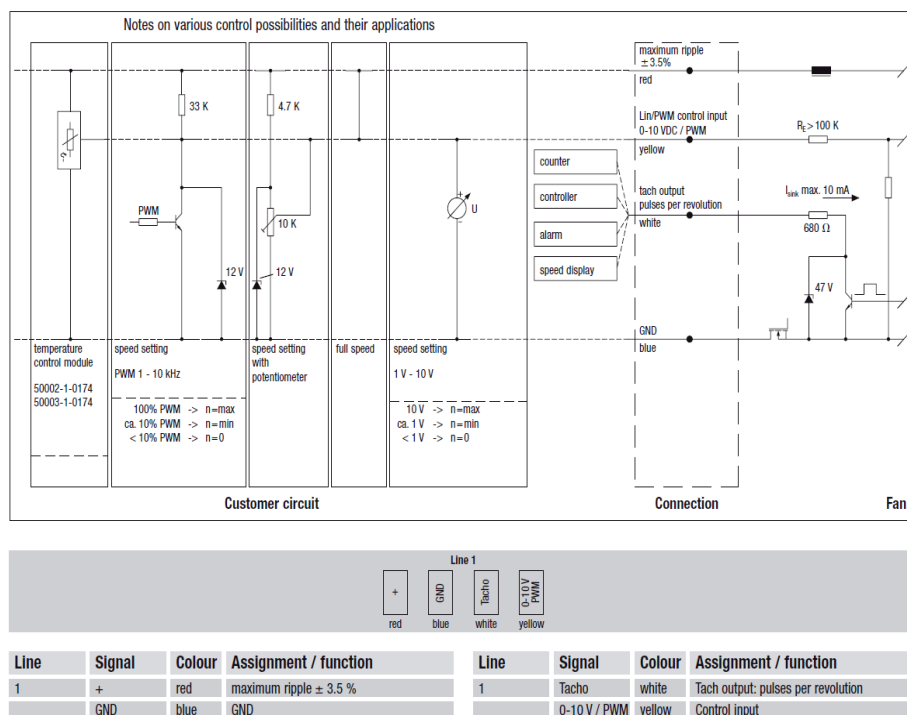
5.1.4 DC- ja EC-moottorikäytöt

5.1.4.1 DC-moottorikäytöt

DC-moottoreiden, joita voidaan käyttää pumppu- ja puhallinkäytöissä, löytyy ainakin Boschilta ja Ebm-papstilta. Etuna DC-moottorikäytöissä on se, että moottorin ottama sähköteho P_s saadaan pienemmäksi ja näin ollen säästettyä energiaa huomattavasti. Hyötysuhde on korkea, koska jättämähäviöitä ei ole ja moottorin vääntömomentti pysyy melkein samana koko säätöalueella. Suomessa eri pakettikoneiden valmistajilta löytyy ilmastointikoneita, joissa on käytetty puhaltimena DC-moottoria kuten esimerkiksi Vallox 150 SE Effect.

Kuviossa 10 on esitetty piirikaavio Ebm-papstin G1G120-AB67-02 DC-moottorista, joka kytketään 24 VDC jännitteeseen. Puhaltimen ulkopuoliselle piirilevylle on tehty PWM-tekniikkaa (käytetään myös taajuusmuuttajissa), jolla puhaltimen nopeutta säädetään kantoaallon mukaan. Nopeutta voidaan ilmeisesti säädellä myös piirilevyn potentiometrin tai 0-10 VDC ulkoisella jänniteviestillä. Puhaltimessa olevan kierrosmittari laskee akselin pyörimisnopeutta antamalla ulostulona pulsseja kierroksia kohden erilliselle näyttöpäätteelle. Lämpötilan ohjausmoduulilla valvotaan todennäköisesti puhaltimen lämpenemistä, ylikuumetessa puhallin sammutetaan ja annetaan hälytys näyttöpäätteelle.

Connection screen

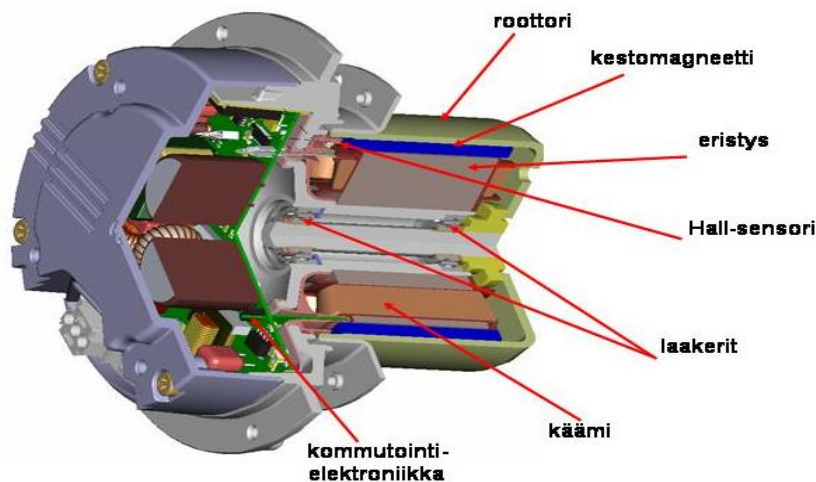


Kuvio 10: DC-puhaltimen piirikaavio Ebmpapstin DC-moottorista (Ebmpapst 2010, 4).

Ongelmana näissä DC-puhallinkäytöissä on vielä se, että niiden antama ilmavirta on vain suuruusluokkaa 50–150 l/s (Ebmpapst 2010), joita voidaan käyttää omakotitalojen tai mökkien ilmanvaihtokoneissa. Tekniikka on vielä lisäksi kallista, mutta tulevaisuudessa DC-puhaltimet voivat kasvattaa suosiotaan tekniikan kehittyessä ja tullessa halvemmaksi.

5.1.4.2 EC-moottorikäytöt

EC-moottoreissa virta ohjataan käämeihin elektronisesti sisäänrakennetun säätimen avulla, jolla on korvattu perinteiset hiiliharjat. Säädin ohjaa virtaa oikeaan käämiin Hall-sensorilta saadun viestin avulla, joka kertoo roottorin asennon suhteessa staattoriin. EC-puhallinkäytöissä pyörimisnopeutta säädetään ulkoisella 0-10 VDC jänniteviestillä 10–100 % säätöalueella esimerkiksi VAKista, jolloin erillistä taajuusmuuttajaa, tyristoria tai muuntajaa ei tarvita. Moottorin hyötysuhde on korkea, koska DC-moottorin tapaan ei ole jännitehäviöitä ja vääntömomentti pysyy samassa suuruusluokassa koko säätöalueella. Lisäksi moottorin ottama sähköteho P_S on huomattavasti pienempi kuin oikosulkumoottorilla. Osateholla energiansäästö verrattuna taajuudenmuuttajaohjattuun AC-moottoriin voi olla 50 %. (Systemair 2007, EC-moottori.) Kuviossa 11 on esitetty EC-moottorin rakennekuva.



Kuvio 11: EC-moottorin rakennekuva (Systemair 2007, EC-moottori).

EC-puhaltimia ja -ilmanvaihtokoneita valmistaa esimerkiksi Systemair ja Fläkt Woods. Puhaltimien antama ilmavirta on suuruusluokkaa 100–3500 l/s, joten ne soveltuvat laajempaan käyttöalueeseen kuin DC-puhaltimet. Hinta on vielä korkea, koska tekniikka on uutta ja se ei ole vielä yleistynyt. Yhtenä ongelmana DC- ja EC-moottoreissa on, se että moottori ei lämpene yhtään; pienissä omakotitalojen IV-pakettikoneissa on jouduttu rakentamaan pyörivän LTO:n eteen lämmityspattereita tai –vastuksia, koska LTO huurtuu pakkasilla jatkuvasti. Tulevaisuus osoittaa, miten EC-moottori saavuttaa markkinoilla suosiota suurimpien huolenaiheiden ollessa elektroniikan kestävyys ja käytettävyys ilman taajuusmuuttajaa. Käytön kannalta moottorin ohjaukseen tulisi liittää esimerkiksi valintakytkin, jolla voitaisiin valita tuleeko säätöviesti VAK:sta vai käsikäytöltä erilliseltä potentiometriltä. Tällöin voitaisiin mahdollistaa se, että moottori saataisiin päälle vaikka VAK olisi jännitteetön esimerkiksi sulakkeen palamisen takia. Potentiometriä tulisi kehittää enemmän käyttöpaneelin tapaiseksi, jolloin käyttäjä näkisi säätöviestin aiheuttaman muutoksen pyörimisnopeuteen, jolloin ilmavirrat olisi helpompaa säätää käsin oikeiksi. (Systemair 2009, EC-puhaltimet.)

5.2 Tilojen valaistuksen ja sälekaihtimien ohjaus

Valaistuksen ohjaus voidaan jakaa päivänvalon tai läsnäolon mukaan ohjattavaksi, ja ne voidaan jaotella energiatehokkuuden mukaan seuraavasti:

Läsnäoloon perustuva ohjaus:

- Manuaalinen päälle/pois kytkin (luokat C ja D)
- Manuaalinen päälle/pois kytkin + automaattinen poiskytkentä (luokat C ja D)
- Automaattinen sytytys, sammutus ja himmennys liiketunnistimen avulla (luokat A, B, C ja D)
- Automaattinen sytytys ja sammutus liiketunnistimen avulla (luokat A, B, C ja D)
- Manuaalinen sytytys ja sammutus, automaattinen himmennys ja sammutus liiketunnistimen avulla (luokat A, B, C ja D)
- Manuaalinen sytytys ja sammutus, automaattinen sammutus liiketunnistimen avulla (luokat A, B, C ja D).

Päivänvaloon perustuva ohjaus:

- Manuaalinen – päivänvaloa ei huomioida valaistuksen ohjauksessa (luokat B, C ja D)
 - Automaattinen – päivänvalo huomioidaan automaatiojärjestelmässä valaistuksen ohjauksessa (luokat A, B, C ja D).
- (SFS EN 15232 2008, 38.)

5.2.1 Sisävalaistuksen ohjaus

Sisävalaistuksen ohjaus on tyypillisesti toteutettu tilakohtaisin kytkimin ja säätimin.

Ohjaamalla sisävalaisusta rakennusautomaation avulla voidaan säästää huomattavasti kustannuksissa, koska se mahdollistaa sen, että valot eivät jää turhaan päälle. Yksi tapa ohjata tilojen valaistusta on liiketunnistimen antaman käyntiluvan kautta.

Liiketunnistimen havaitessa tilassa liikettä, antaa se valaistuksen ohjaukselle käyntiluvan. Tärkeää on asettaa liiketunnistimen päälle ja poiskytkentä viive-ajat järkeviksi, että valoja ei ohjattaisi esimerkiksi liian pitkällä viiveellä päälle. Toinen tapa tilojen valaistuksen ohjaukseen on valoisuusanturin avulla, jolloin huomioidaan

päivänvalon vaikutus tiloihin. Päivänvalon ollessa tietyn valoisuusarvon alla annetaan valaistuksen ohjaukselle käyntilupa.

5.2.2 Ulkovalaistuksen ohjaus

Ulkovalaistuksen ohjaus on järkevintä toteuttaa siten, että aika-ohjelmaan asetetaan aikajaksot, jolloin ulkovalaistuksen halutaan olevan päällä esimerkiksi klo 18.00 – 9.00 välisenä aikana. Varsinainen käyntilupa ulkovalaistuksen ohjaukselle tulisi kuitenkin ulkovaloisuusanturin mittauksen perusteella. Mittaustuloksen ollessa alle tietyn valoisuusrajan (lx) annetaan ulkovalaistuksen ohjaukselle käyntilupa.

5.2.3 Sälekaihtimien ohjaus

Sälekaihtimien avulla voidaan estää auringon aiheuttamaa tilojen ylikuumenemista ja siten vähentää jäähdytyksen tarvetta. Niiden ohjaus voidaan jaotella energiatehokkuuden mukaan seuraavasti:

- Manuaalinen toiminta (luokat C ja D)
- Moottoroitu toiminta, manuaalisella ohjauksella (luokat C ja D)
- Moottoroitu toiminta, automaattisella ohjauksella (luokat B, C ja D)
- Yhdistetty valaistuksen, sälekaihtimien ja rakennusautomaation ohjaus (luokat A, B, C ja D).

(SFS EN 15232 2008, 39.)

5.3 Tilojen lämmityksen ja jäähdytyksen säätö

Lämmityskauden huonelämpötilan asetusarvona käytetään yleensä 21 °C ja kesäkaudella 23 °C (D2 Suomen Rakennusmääräyskokoelma 2010, 6). Huonelämpötilanturia asennettaessa tulisi huomioida se, että asennuspaikan vieressä ei olisi ikkunoita, kylmä- tai lämminvesiputkia tai muita esineitä, jotka vaikuttaisivat anturin mittaustulokseen. Tilojen lämmitystä voidaan säätää joko ilmanvaihtokoneen lämmityspatterin, patteriverkoston tai sähkölämmityspatterin avulla, johon ei tässä työssä keskitytä. Jäähdytystä voidaan puolestaan säätää huonekohtaisen jäähdytyskasetin tai ilmanvaihtokoneen jäähdytyspatterin avulla.

5.3.1 Huoneistokohtaisen jäähdytyksen ja lämmityksen ohjaus

Huoneistokohtaisen jäähdytyksen ja lämmityksen ohjaus voidaan jakaa energiatehokkuuden mukaan seuraavasti:

- Huonelämpötilalle ei ole automaattista säätöä (luokka D)
- Keskitetty automaattinen säätö, joka toimii jakelu- tai tuotantoverkostossa. Voidaan toteuttaa esimerkiksi ulkolämpötilan kompensoinnin avulla (luokka D)
- Automaattinen huonekohtainen säätö termostaattiventtiilien ja huonelämpötila-antureiden avulla (luokat C ja D)
- Automaattinen huonekohtainen säätö, säätimet on pystyttävä liittämään väylään ja rakennusautomaatiojärjestelmään (luokat B, C ja D)
- Yhdistetty automaattinen huonekohtainen säätö ja tarvesäätö toteutettuna liiketunnistimin tai erilaisin käyttökytkimin (luokat A, B, C ja D).
(SFS EN 15232 2008, 28.)

Lämmityksen ja jäähdytyksen ohjaukseen kuluu kiinteistöissä huomattavia määriä sähköenergiaa. Energiankäytön kannalta niiden ohjaukset tulisi lukita keskenään rakennusautomaatiojärjestelmässä, jolloin molemmat eivät voi olla ohjattuna samaan aikaan päälle. Seuraavassa kappaleessa on esitetty keinoja, joilla voidaan vähentää niiden sähköenergian kulutusta tekemällä erilaisia käyntilupaohjauksia.

Lämmityksen ja jäähdytyksen käyttöä tulisi välttää esimerkiksi silloin, kun rakennuksessa ei ole ihmisiä ja yö- ja viikonloppuaikoina. Lämpötila tulisi kuitenkin pitää rakennusmateriaalien kannalta turvallisena. Jäähdytyksen ohjaus on tyypillisesti tehty niin, että huonelämpötilan kasvaessa yli asetusarvon ohjataan kyseisen tilan jäähdytys päälle. Yksi keino, jolla saataisiin huomattavia säästöjä, olisi ohjata tilan jäähdytyskasettia automaattisesti lämpötilan mukaan ja lisäksi tarvesäätönä liiketunnistimen antaman käyntiluvan kautta. Liiketunnistimen havaitessa tilassa liikettä annetaan jäähdytyskasetin ohjaukselle käyntilupa. Tärkeää olisi miettiä liiketunnistimen päälle- ja poiskytkennän viive-ajat järkeväksi, ettei jäähdytyskasettia ohjattaisi jatkuvasti päälle ja pois. Energiasäästöjä saataisiin myös sillä, että lämmitys- tai jäähdytysjärjestelmä sammutettaisiin tai säädettäisiin pienemmälle viimeisen tunnin aikana, jolloin tilat ovat vielä käytössä.

Vedenjäähdyttimiin liittyvissä ohjauksissa tulisi huomioda se, että jos kompressoreita on enemmän kuin yksi, ohjataan muita kompressoreita päälle vasta, kun ensimmäinen kompressori ei voi enää vastata jäähdytystarpeeseen. Toinen hyvä muistisääntö liittyy lämpötilaan: lämpötilan kasvaessa vähennetään kompressorin kuluttamaa energiaa ja lämpötilan pienetessä vähennetään pumpun hevosvoimia. (Sugarman 2007, 264–277)

5.3.2 Huonelämpötilan mukaan säädettävä patteriverkosto

Patteriverkoston säätäminen rakennusautomaatiojärjestelmästä voidaan jakaa energiatehokkuuden mukaan seuraavasti:

- Ei säätöä, patteriverkoston lämpötilalle ei ole säätösilmukkaa (luokka D)
- Muuttuva asetusarvo ulkolämpötilan kompensoinnilla, säätösilmukka mahdollistaa patteriverkoston lämpötilan säätämisen ulkolämpötilan mukaan muuttuvalla säätökäyrällä (luokat C ja D)
- Muuttuva asetusarvo huonelämpötilan mukaan ulkolämpötilan kompensoinnilla, säätösilmukka mahdollistaa patteriverkoston lämpötilan säätämisen huone- ja ulkolämpötilan mukaan muuttuvalla säätökäyrällä (luokat A, B, C ja D).
(SFS EN 15232 2008, 29.)

Kiinteistöön asennetaan yleensä yksi lämpötila-anturi keskeiselle paikalle patteriverkostoa kohden. Huonelämpötila pyritään pitämään asetusarvossaan säätämällä patteriverkoston sekoitusventtiiliä ulko- ja huonelämpötilojen mukaan asetetun säätökäyrän avulla. (Jansson 2000, 150.) Säätökäyrän ollessa liian jyrkkä, huonelämpötila nousee kylmillä ilmoilla yli 21 °C:een ja lämmitysenergiaa kulutetaan turhaan. Mittaamalla lisäksi patteriverkoston meno- ja paluueden lämpötilat voidaan huomata mahdollinen tukos sekoitusventtiilissä tai patteriverkostossa.

Tehokas keino kiinteistön lämmitysenergian säästämiseen on perussäätää vesikiertoinen lämmitysjärjestelmä, jonka hoitaa putkiurakoitsija tai -liike. Perussäädöllä varmistetaan, että kaikissa huoneissa on suunnitelmien mukainen huonelämpötila, jolloin yli- ja alilämpötilat tasaantuvat, asumismukavuus paranee ja energiaa säästyy.

Lämmitysjärjestelmän perussäätö vaikuttaa lisäksi myös rakennusautomaation tehokkuuteen. Perussäädön avulla kiinteistön energiankulutusta voidaan vähentää 10–15 %. (Motiva Oy 2009, Lämmitysverkoston perussäätö.)

5.3.3 Lämpötila ohjattu ilmanvaihto

Ilmanvaihdon säätäminen rakennusautomaatiojärjestelmästä voidaan jakaa energiatehokkuuden mukaan seuraavasti:

- Ei säätöä, tuloilman lämpötilalle ei ole säätösilmukkaa (luokka D)
- Vakio asetusarvo, säätösilmukka mahdollistaa tuloilman lämpötilan säätämisen asetettuun asetusarvoon (luokat C ja D)
- Muuttuva asetusarvo ulkolämpötilan kompensoinnilla, säätösilmukka mahdollistaa tuloilman lämpötilan säätämisen ulkolämpötilan mukaan muuttuvalla asetusarvolla (luokat B, C ja D)
- Muuttuva asetusarvo lämpökuormien kompensoinnilla, säätösilmukka mahdollistaa tuloilman lämpötilan säätämisen tilan lämpökuormien mukaan muuttuvalla asetusarvolla. Tämä vaatii integroitavaa säätöjärjestelmää, joka mahdollistaa huonelämpötilojen tai venttiilien asennon keräämisen eri huoneista (luokat A, B, C ja D).
(SFS EN 15232 2008, 37.)

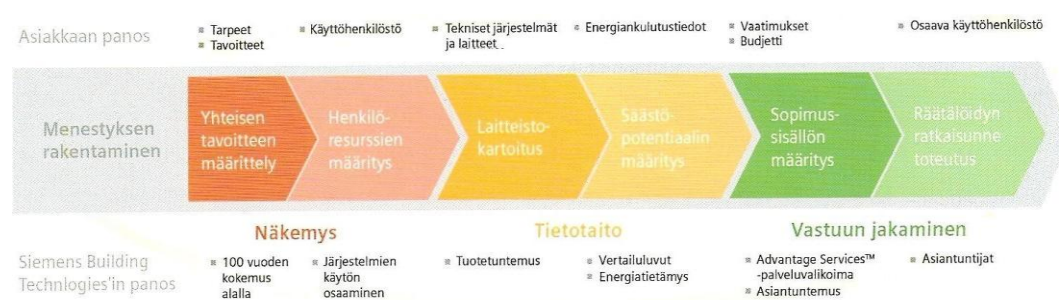
Tilan tuloilman lämpötilaa voidaan säätää mittaamalla ulkoilman-, tuloilman- ja huoneilman lämpötilat. Säätökeskus säätää IV-koneen lämmitys- tai jäähdytyspatterin menopuolen venttiiliä ja LTO:ta antureiden mittaustietojen perusteella. Käyttämällä kaskadisäätöä ja ennakointia voidaan kompensoida nopeammin säätöpiirin häiriöitä ja vähentää lämpötilojen heilahteluja, jotka puolestaan säästävät lämmitys- tai jäähdytysenergiaa. (Jansson 2000, 150.) Ilmastointikoneiden energiankulutusta voidaan lisäksi pienentää huomattavasti säätämällä tuloilmapellit niin, että ulkoa otettava ilmamäärä on vähintään sallituissa arvoissa, jolloin tuloilman lämmitystarve pienenee (Sugarman 2007, 265–266).

6 Erilaiset energiansäästöhankeet ja -palvelut

Markkinoilta löytyy useita eri rakennusautomaatioalan yrityksiä, kuten Schneider Electric Buildings Finland Oy, Siemens Building Technologies Oy ja Honeywell Oy, jotka tarjoavat ulkoisina palveluina erilaisia hälytys-, energia-, käyttö-, ylläpito-, tieto- ja elinkaari palveluita. Erilaisilla palveluilla erotetaan hyvin yrityksistä, joissa tarjotaan pelkästään urakointia. Lisäksi palveluita voidaan tarjota eri toimittajien tekemille kohteille, joten järjestelmien integraatio on mahdollista ainakin energianseurannan osalta, mutta esimerkiksi hälytys- ja ylläpitopalveluita on mahdotonta tarjota jos kohteessa ei ole käytetty samaa järjestelmää, koska optimointitoimenpiteiden tekeminen ei onnistu.

6.1 Siemensin tarjoamat erilaiset hallinta- ja optimointi palvelut

Siemensin tarjoamien Advantage Services palveluvalikoiman lähtökohtana on asiakkaan vaatimusten ja tarpeiden mukaisen palvelupaketin räätälöinti. Tyypillinen integroitu palvelupaketti kattaa yleensä energiankäytön optimoinnin, käyttökustannusten säästöt ja investointiturvat. Mahdolliset investoinnit, joita palvelut vaativat kuoletaan sopimusaikana saavutetuilla energian- ja käyttökustannusten säästöillä. Kuviossa 12 esitetyn asiakkaan ja palveluntarjoajan välinen jatkuva yhteistyö on edellytys sille, että optimointisuunnitelmat tai paketit saadaan räätälöityä onnistuneesti. (Siemens 2007, Energiansäästöä toiminnan..., 2–5.)



Kuvio 12: Menestyksen rakentaminen vaatii asiakkaan ja palvelun tarjoajan välistä jatkuvaa vuorovaikutusta (Siemens 2007, Energiansäästöä toiminnan..., 4).

Palveluiden etäkäyttö ja web-pohjainen pääsy rakennusautomaatiojärjestelmään mahdollistavat optimointitoimenpiteiden kustannustehokkaan ja oikein ajoitettujen toimenpiteiden toteutuksen. Etäkäytön avulla on myös helpompaa käsitellä hälytyksiä ja

tehdä erilaisia raportteja reaaliajassa. Kuviossa 13 on esitetty Siemensin tarjoamia erilaisia palveluita kiinteistön toiminnan optimointiin.



Kuvio 13: Siemensin tarjoamia erilaisia Advantage Services palvelumoduuleita (Siemens 2007, Advantage Services..., 3).

6.1.1 Elinkaaripalvelut

Elinkaaripalveluiden, joihin kuuluu erilaisia teknisiä strategioita ja järjestelmäohjelmistoja, päätarkoituksena on varmistaa että rakennuksen käyttötoiminnot toimivat moitteettomasti ja ovat aina ajan tasalla. Järjestelmiä modernisoimalla parannetaan järjestelmien toiminnallisuutta ja toimintakykyä. Se voidaan toteuttaa esimerkiksi tietyille kiinteistölle sovitulla modernisointiohjelmalla, jossa järjestelmiä uudistetaan tietyn budjettisuunnitelman mukaisesti. Sillä voidaan säästää kokonaiskustannuksissa verrattuna siihen, että järjestelmät vaihdettaisiin täysin uusiin yhdellä kerralla. (Siemens 2007, Advantage Services..., 4.)

6.1.2 Hälytyspalvelut

Hälytyspalvelut, joita ovat hälytysvalvonta ja tapahtumien käsittely, käsittelevät tapahtumat ja murto- ja palohälytykset häiriöiden ja vaurioiden estämiseksi sekä mahdollisten riskien pienentämiseksi. Hälytystapahtumien käsittely hälytyshistoriaa apuna käyttäen, toimii pohjana energiankäytön ja käyttötoimintojen jatkuvalle optimointiprosessille. Hälytyshistorian erilaisten raporttien ja algoritmien avulla

voidaan löytää järjestelmästä heikot kohdat, joiden avulla voidaan optimoida esimerkiksi energiankulutusta, vasteaikoja, huoltokäyntejä ja tarkastusten suunnittelua. (Siemens 2007, Advantage Services..., 6.)

6.1.3 Energiapalvelut

Energiapalveluilla voidaan saavuttaa usein 10–15 %:n energiansäästöjä ja vähentää ympäristöpäästöjä (Siemens 2007, Advantage Services..., 9). Rakennuksen energiankulutusta seurataan, analysoidaan ja optimoidaan ilman, että mukavuustekijöihin puututaan. Tavoitteena on toteuttaa ja ylläpitää jatkuvaa energiankäytön optimointiprosessia. Energiaseuranta-palvelu välittää kiinteistön käyttäjälle tai omistajalle energiankulutus- ja toimintatietoja, joiden perusteella saadaan tehtyä kulutusraportteja. Ne auttavat löytämään säästömahdollisuuksia ja varmentamaan toteutettujen toimenpiteiden onnistumisen. Analysointivaiheessa etsitään keinoja, joilla voidaan säästää kiinteistön energiankulutuksessa, käyttämällä apuna erilaisia vertailulukuja ja tehtyjen optimointiprosessien dokumentaatiota. Optimoinnissa kehitetään optimointisuunnitelma asiakkaan kanssa rakennuksen vaatimusten ja yksilöllisten tarpeiden mukaan. Energiapalvelut voivat vaatia investointeja, jos esimerkiksi kiinteistön energiamittarit eivät ole liitettävissä rakennusautomaatiojärjestelmään ja etäluettavissa. (Siemens 2007, Advantage Services..., 9.)

6.1.4 Käyttöpalvelut

Käyttöpalvelut tarjoavat tukea ja opastusta järjestelmien käytössä sekä auttavat kiinteistön hallinnassa. Käytönopastuksella tarjotaan suora yhteys asiantuntijoihin, jotka joko tukevat kiinteistön käyttöhenkilöstöä tai käyttävät järjestelmää etäyhteyden kautta erilaisten teknisten ongelmien ratkaisemiseen. Kiinteistön järjestelmien toimintaa voidaan seurata ja analysoida säännöllisten tilaraporttien avulla, joista etsitään mahdollisia optimointialueita. Jatkuvalla järjestelmien optimoinnilla voidaan alentaa käyttökustannuksia, parantaa järjestelmien toimintavarmuutta ja pidentää laitteistojen elinikää. (Siemens 2007, Advantage Services..., 10.)

6.1.5 Ylläpitopalvelut

Ylläpitopalvelut tarjoavat ennalta estäviä ja korjaustoimenpiteitä, joilla aikaansaadaan ongelmaton, turvallinen ja tehokas järjestelmien toiminta. Säännöllisillä ennakkohuolloilla pyritään estämään järjestelmien vikaantumisia ja seisokkeja.

Asiakkaan kanssa määritellään tarvittava palvelutaso esimerkiksi 24/7-tavoitettavuus, taattu vasteaika tai laajennettu palveluaika mahdollisia vikahuoltoja varten. Vikahuoltoja ovat osien vaihtamiset, varaosien toimittamiset ja hävinneen tiedon palauttamiset.

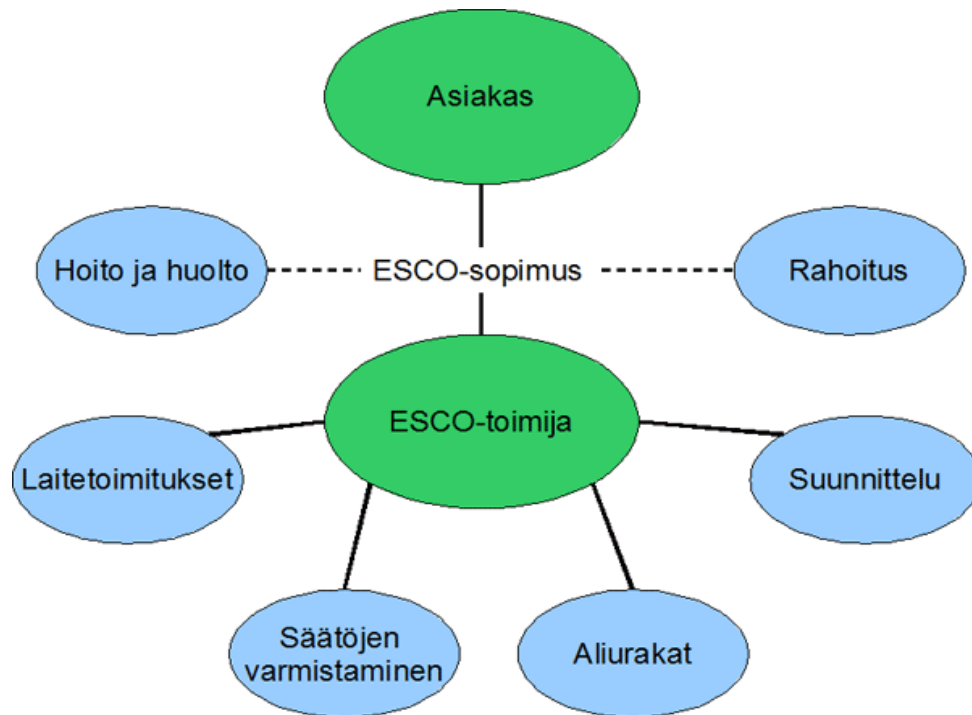
(Siemens 2007, Advantage Services..., 12.)

6.1.6 Tietopalvelut

Tietopalvelut tarjoavat neuvontaa, koulutusta ja työkaluja, jotka auttavat rakennuksen järjestelmien hallinnassa ja käytössä. Koulutus ja neuvonta tapahtuvat web-pohjaisen tukityökalun kautta tai järjestetyn koulutuksen avulla. Työkaluina tietojen säilyttämiseen ja palauttamiseen voidaan käyttää web-pohjaista Palveluportaali- tai Dokumenttien hallinta-palvelua. (Siemens 2007, Advantage Services..., 15.)

6.2 ESCO-hankkeet

ESCO:n liikeideana on rahoittaa ja hallita energiasäästö investointeja ja -toimenpiteitä minimoiden asiakkaan riskit, kattamalla saavutetuilla energiansäästöillä investointien kulut. Asiakaskuntaa ovat pääosin suuret energiankäyttäjät ja asiakkaat, joilla on useita eri kiinteistöjä, kuten sairaalat ja kunnat. Investointien takaisinmaksuehdoista ja säästöjen mittauksista sovitaan etukäteen ESCO-yrityksen ja asiakkaan välillä. Yleensä sovitaan tietystä minimimäärästä, jonka asiakas maksaa sijoituksesta takaisin lyhennyserissä, minimimäärä voi olla esimerkiksi energiakustannuksiin syntynyt säästö. Näin ollen asiakkaalla ei ole missään vaiheessa sopimusta enempää kuluja kuin ilman tehtyä sopimusta. ESCO-yritys omistaa investoinnin, kunnes se on maksettu kokonaan takaisin tai asiakas lunastaa itsensä pois sopimuksesta. Suurin riski on asiakkaan mahdollinen maksukyvyttömyys; konkurssitilanteessa ESCO-yritykselle jää haltuunsa energiaa säästävään ratkaisuun liittyvät laitteet, mutta niitä voi olla vaikea realisoida tai sovittaa käyttöön muualla. Hajauttamalla sijoituksia useisiin säästökohteisiin, pystytään hallitsemaan paremmin yksittäisistä projekteista aiheutuvia riskejä. (Enespa 2004.) Kuviossa 14 on esitetty ESCO toiminnan jakautumisesta eri vaiheisiin.



Kuvio 14: ESCO-yritys vastaa hankkeen läpiviennistä ja onnistumisesta asiakkaalle (Retermia 2007).

Suomessa Motiva on kehittänyt energiakatselmusjärjestelmän, jossa heidän kouluttamien katselmoijien suorittamiin katselmuksiin saa 40–50 % kauppa- ja teollisuusministeriön tukea. Energiakatselmuksissa selvitetään säästökohteet, tarvittavat toimenpiteet, odotettavissa olevat säästöt ja kustannukset. Heikkoutena voidaan pitää sitä, että katselmuksen jälkeen vastuu siirtyy asiakkaalle, jotka voivat jättää tekemättä n. 50 % säästöjä antavia toimenpiteitä, joita katselmuksissa on tullut esille. (Enespa 2004.) Kohteessa eri urakat tehdään joko aliurakoina tai ESCO-yrityksen toimesta, jos tarvittavaa osaamista löytyy (suunnittelu, sähkö-, automaatio-, rakennus- ja LVI-työt). Toimintamuoto voi olla alan kilpailijoiden kannalta haastava, koska jos ESCO-toimija teettää hankkeen yrityksen sisäisinä töinä, vähentää se varmasti paikkakunnan yrityksiltä töitä. Lopulta kuitenkin ESCO-toimija on se, joka vastaa hankkeen onnistumisesta ja riskeistä, ei aliurakoitsijat.

7 Hollolan kunnan ESCO-hanke

Talotekniikkaan ja kiinteistöjen ylläpitoon perustuvien palveluiden tarjoamiseen erikoistunut Schneider Electric Buildings Finland Oy ja Hollolan kunta ovat solmineet sopimuksen kehityshankkeesta, joka kohdistuu kymmeneen Hollolan kunnan omistamaan kiinteistöön. Hankkeen päätarkoituksena on vähentää energiankulutusta ja energiakustannuksia lämmitystapojen muutoksilla sekä parantaa kunnan kiinteistöjen teknistä tasoa. LTO:en ja IV-koneiden muutoksilla parannetaan LVI-laitteistoa ja rakennusautomaation pienillä muutoksilla (ohjauksien muutokset ja antureiden vaihtamiset) saadaan talotekniset järjestelmät toimimaan paremmin tarpeen mukaan. Tämä ESCO-hanke sisälsi seuraavia toimenpiteitä:

- Viiden koulun lämmitystapa muutettiin öljystä biopolttoaineisiin aiempien kahden hakelämpöyksikön jatkoksi. Kouluihin asennettiin biolämpölaitokset, joissa voidaan polttaa haketta ja pellettiä sekä muita kiinteitä biopolttoaineita (Herralan koulu öljyltä pelletille. Kalliolan-, Nostavan-, Uskilan- ja Pyhäniemen koulu öljyltä hakkeelle)
- Suoran sähkölämmityksen korvaaminen maalämpöpumpulla ja vesikiertoisella patterilämmityksellä Hollolan Kunnantuvassa
- Uimahallin allasveden LTO:ta ja IV-koneita muutettiin
- Jäähallin kylmäjärjestelmään rakennettiin lauhdelämmön talteenotto
- Pyhäniemen koulun liikuntasalin ja teknisentyötilan IV-koneen ilmanjakoa ja ohjausta muutettiin
- Kalliolan koulun liikuntasalin ja varaston ilmastointia muutettiin
- Lämmityksen pudotuksia muutettiin.

(Nuuttila 2009.)

Hollolan kunnan kunnossapitopäällikkö Arto Nuuttila kommentoi hankkeesta ”Hanke oli vaativa, mutta kannattava. ESCO-toteutustapa on kustannustehokas ja joustava”. (Nuuttila 2009.) Hankkeen myötä kunnan hiilidioksidipäästöt pienenevät 1180 tonnia vuodessa ja energiankulutus n. 11 %. Hanke on myös vastaus Euroopan Unionin energiatehokkuusdirektiiviin, joka velvoittaa julkisen sektorin toimijoita säästämään energiaa 9 % vuoteen 2016 mennessä. Lisäksi direktiivi velvoittaa käyttämään energiakatselmoitteja tai ESCO-yritystä tavoitteiden saavuttamiseksi. (TAC Finland Oy 2007, 2.)

7.1 Lasketut energiansäästöt

Kokonaisuudessaan hankkeen arvo oli noin 1,5 miljoonaa euroa, joka sisältää energiansäästötoimenpiteitä ja korjausvelkatoimenpiteitä. Vuosittaiset kustannussäästöt energiankulutuksesta ja tilavuusvesivirrasta ovat 135 000 €, jotka on laskettu alla olevan taulukon 3 energiahintojen mukaan. Taulukossa 4 on esitettyä energiankulutustiedot ennen hanketta ja lasketut säästöt.

Taulukko 3: Laskelmissa käytetyt energianhinnat (Aittola, 2010).

Energianhinnat	
Kaukolämpö	28 €/MWh
Sähkö	74 €/MWh
Hake	25 €/MWh
Öljy	55 €/MWh
Käyttövesi	2,6 €/m ³

Taulukko 4: Energiankulutukset ennen hanketta ja lasketut säästöt (Aittola, 2010).

	Kulutukset ennen hanketta	Lasketut kulutukset
Kaukolämmön energiankulutus (MWh/a)	5700	4300 (-24 %)
Sähköenergian kulutus (MWh/a)	3100	2780 (-10 %)
Käyttöveden kulutus (m ³ /a)		-1800,00
Öljylämmityksiä hakelämpölaitoksiksi (MWh/a)		2100,00

7.2 Toteutuneet energiansäästöt ja käynnissä olevat lisätoimenpiteet

”Seurantavaiheen alussa 1,5 vuoden seurannan perusteella hankkeella on jo saavutettu huomattavia säästöjä kaukolämmön, sähkön ja käyttöveden energiankulutuksissa. Suurille hankkeille tyypilliseen tapaan kohteiden talotekniikan toiminnan optimointia jatketaan edelleen, jotta energiansäästötavoitteet saadaan kokonaisuudessaan syntymään ja tavoitteena myös ylittymään koko seurantakauden aikana. Tässä vaiheessa energiansäästötavoitteet ovat osassa kohteita toteutuneet kohdetavoitteisiin nähden kokonaisuudessaan, mutta muutamassa kohteessa säästöistä on toteutunut vasta 20 %. Kokonaisuudessaan energiakustannussäästöissä ollaan noin –30 % tavoitetta jäljessä. Käynnissä olevia lisätoimenpiteitä ovat:

- Biolämpölaitosten palotapahtuman säädön muutokset laitosten hyötysuhteen parantamiseksi
- Jäähallin lauhdelämmön talteenoton säätömuutokset
- Ilmanvaihtokoneiden ja lämmityslaitteiden säätömuutoksia uimahallilla, virastotalolla ja PKY1:ssä.

Lisäksi kohteiden laajennukset ja käyttötapamuutokset ovat vaatineet ESCO-hankkeille tyypillisiä energiakulutuksen lähtö- ja säästötasomuutoksia, jotta kohteiden säästötavoitteet ja säästötakuut on saatu päivitettyä.” (Aittola, 2010.)

8 Yhteenveto

Puhaltimien ja pumppujen sähkönkulutusta voidaan pienentää huomattavasti taajuusmuuttajakäytöllä, jolloin osakuormilla sähkönkulutus pienenee verrattuna kuristinsäätö- tai päällä/pois ohjauksiin. Automaatio- ja LVI-suunnitelmilla, tilojen loppukäyttäjien käytönopastuksella, toimintakokeiden testauksilla ja aika-ohjelmien asetuksilla on suuri merkitys siihen, että laitteet toimivat oikein ja että niitä käytetään oikein. Taajuusmuuttajakäytön energiasäästökapasiteetista jää paljon saavuttamatta, jos esimerkiksi kellokytkimet on jatkuvalla tehostuksella tiloissa, vaikka niitä ei käytetä tai aika-ohjelmat on aseteltu väärin rakennuksen käyttörytmiin verrattuna. Tilojen jäähdytys ja lämmitys kattavat suuren osan rakennusten energiankäytöstä.

Jäähdytystarpeen kasvaessa, tulisi suunnittelijoiden miettiä tilannekohtaisesti sopiva ohjausmenetelmä, jolla voidaan vaikuttaa jäähdytyksen energiatehokkuuteen.

Esimerkiksi toteutettaessa jäähdytys automaattisella huonekohtaisella säädöllä ja tarvesäädöllä voidaan säästää huomattavasti energiankäytössä, mutta ohjausmenetelmä ei sovi kaikkiin kohteisiin. Energiansäästäminen edellyttää lisäksi sen, että LVI-laitteet toimivat oikein; huollon laiminlyönnillä laitteiden hyötysuhteet voivat tippua huomattavasti.

Rakennusautomaatio on enemmänkin työkalu, jonka avulla käytön aikaiset säästöt saavutetaan. Ohjelmistot tarjoavat useita hyödyllisiä työkaluja energiansäästämiseen järjestelmätoimittajasta riippuen, kuten tehonrajoituksen käytön, lämmityksen optimoinnin ja kulutusraportoinnin. Energiankulutuksen seurannalla ja raportoinnilla saadaan aikaan hyödyllistä informaatiota, mutta on hyödytöntä jos se ei johda toimenpiteisiin. Energiankulutuksen kasvaessa kiinteistössä, on tärkeää selvittää syyt kulutuksen kasvuun ja tarvittaessa tehdä korjaavia toimenpiteitä. Tilanteissa, joissa kiinteistön energianseurantaan ei riitä resursseja, olisi tärkeää miettiä palveluiden ostamisesta kiinteistöautomaatioyrittäjiltä.

Lähteet

- ABB. 2008. Energy Saving Tools. [online] [viitattu 15.02.2010].
<http://www.abb.com/product/ap/seitp322/24b03100d005c31ac1256e040043f4c1.aspx?country=US>
- Aittola, Janne, Tuotantopäällikkö Schneider Electric Buildings Finland Oy. [Sähköpostiviesti 28.2.2010]. S-posti. janne.aittola@buildings.schneider-electric.com. Tulostettu 24.3.2010
- D2 Suomen Rakennusmääräyskokoelma. Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. 2010. Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto
- D5 Suomen Rakennusmääräyskokoelma. Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. 2007. Ympäristöministeriö, Asunto- ja rakennusosasto
- Ebmpapst. 2010. Centrifugal fans, single inlet. [online] [viitattu 12.02.2010].
http://www.ebmpapst.com/en/products/centrifugal-fans/forward-curved/single-inlet/single_inlet.php
- Ebmpapst. 2010. EC centrifugal fan G1G120-AB67-02 [pdf-tiedosto] [viitattu 12.02.2010]
 Saatavissa: <http://img.ebmpapst.com/products/datasheets/G1G120AB6702-ENG.pdf>
- Energiateollisuus ry. 2010. Energiavuosi 2009. [online] [viitattu 15.02.2010].
<http://www.energia.fi/fi/ajankohtaista/lehdistotiedotteet/energiavuosi%202009%20s%C3%A4hk%C3%B6.html>
- Enespa. 2004. ESCO-toiminta. [online] [viitattu 12.02.2010].
<http://www.enespa.fi/esco/>
- Hyvärinen, Juhani. 2009. Energiatehokkuus ja rakennuksen automaation luokitus. BAFF-seminaari 04.06.2009. [pdf-tiedosto] [viitattu 25.10.2009] Saatavissa:
http://www.automaatioseura.fi/index/tiedostot/BAFF09_Hyvarinen.pdf
- Ihasalo, Heikki. 2008. Kiinteistön toimivuuden mittarit liikekiinteistössä. BAFF-seminaari 22.05.2008. [pdf-tiedosto] [viitattu 23.02.2010] Saatavissa:
http://www.automaatioseura.fi/index/tiedostot/Baff_2008_Ihasalo.pdf
- Ilmatieteen laitos. 2009. Lämmitystarveluku [online] [viitattu 01.02.2010].
http://www.ilmatieteenlaitos.fi/tuotteet/kauppa_11.html
- Jansson, Erik, 2000, Sääto- ja mittaustekniikka, Iisalmi, IS-VET
- Leskinen, Mia; Mustakallio, Panu & Paiho, Satu, 2000, Automaatiojärjestelmän hyödyntäminen rakennusten energiatietoisien käytön apuvälineenä. Valtion Teknillinen Tutkimuslaitos 63 s.
- Moss, Keith, J. 2006. Energy Management in Building. 2nd Edition. Taylor & Francis
- Motiva Oy. 2001. Kulutusseurantaohjelmistot ja -palvelut [pdf-tiedosto] [viitattu 05.02.2010]
 Saatavissa: www.motiva.fi/files/454/kulutusseuranta.pdf

- Motiva Oy. 2009. Lämmitysverkoston perussäätö [online] [viitattu 15.02.2010].
http://www.motiva.fi/julkinen_sektori/energiankayton_tehostaminen/kiinteistojen_energianhallinta/lammitysverkoston_perussaato
- Motiva Oy. 2009. Käyttäjien opastus [online] [viitattu 01.02.2010].
http://www.motiva.fi/julkinen_sektori/energiankayton_tehostaminen/kiinteistojen_energianhallinta/kayttajien_opastus
- Motiva Oy. 2010. Kulutuksen normitus [online] [viitattu 01.02.2010].
http://www.motiva.fi/julkinen_sektori/energiankayton_tehostaminen/kiinteistojen_energianhallinta/kulutuksen_normitus
- Motiva Oy. 2010. Laskukaavat: Lämmin Käyttövesi [online] [viitattu 15.02.2010].
http://www.motiva.fi/julkinen_sektori/energiankayton_tehostaminen/kiinteistojen_energianhallinta/kulutuksen_normitus/laskukaavat_lammin_kayttovesi
- Motiva Oy. 2010. Laskukaavat: Lämmitysenergiankulutus [online] [viitattu 02.02.2010].
http://www.motiva.fi/julkinen_sektori/energiankayton_tehostaminen/kiinteistojen_energianhallinta/kulutuksen_normitus/laskukaavat_lammitysenergiankulutus
- Mustasilta, Harri, 2009. Energian käytön hallinta [pdf-tiedosto] [viitattu 05.02.2010]
 Saatavissa:
http://www.ttl.fi/NR/rdonlyres/E3B6FA87-F27D-48B1-80E5-E8CC9AD558FE/28199/Energiankytnhallinta_HarriMustasilta.pdf
- Nuuttila, Arto, Hollolan kunnan kunnossapitopäällikkö. [Sähköpostiviesti 9.11.2009].
 S-posti. arto.nuuttila@hollola.fi. Tulostettu 24.3.2010
- Piikkilä, Veijo. 2004. Lon Works-tekniikan perusteet. 1.painos. Tampere.
 Tammertekniikka
- Piikkilä, Veijo. 2009. Energiatehokkuus. [online] [viitattu 20.01.2010].
<http://moodle.tamk.fi/mod/resource/view.php?id=121890>
- Prill, Rich. 2000. Why Measure Carbon Dioxide Inside Buildings? [pdf-tiedosto]
 [viitattu 28.11.2009] Saatavissa:
<http://www.energy.wsu.edu/documents/building/iaq/CO2inbuildings.pdf>
- Retermia. 2007. ESCO-toiminta. [online] [viitattu 12.02.2010].
<http://www.retermia.fi/fi/?ID=1585>
- SFS-EN 15232. Rakennusten energiatehokkuus. Rakennusautomaation vaikutus. 2008.
 Suomen standardoimisliitto SFS
- Siemens. 2010. Building Technologies. [online] [viitattu 25.01.2010].
http://w1.siemens.com/responsibility/en/environment/portfolio/building_technologies.htm
- Siemens. Advantage Services – Kattava palveluvalikoima kiinteistön kaikkiin tarpeisiin. 2007. Siemens Osakeyhtiö
- Siemens. Energiansäästöä toiminnan tehokkuutta parantamalla – Rakennuksen teknisten toimintojen optimointi Advantage Services -palvelujen avulla. 2007. Siemens Osakeyhtiö

- Siemens. Huoneistokohtaiset vesimittarit – säästä luontoa ja rahaa. 2008. Siemens Osakeyhtiö
- ST 710.10. Rakennusautomaatiojärjestelmän hyödyntäminen. 2007. Sähkötieto ry
- ST 710.11. Rakennusautomaatiojärjestelmän toiminnallisen tavoitetason määrittäminen. 2004. Sähkötieto ry
- ST 715.10. Taajuusmuuttajakäytöt rakennusautomaatiossa. 2006. Sähkötieto ry
- Sugarman, Samuel C. 2007. HVAC Fundamentals. 2nd Edition. The Fairmont Press Inc
- Systemair Oy. 2007. EC-moottori. [online] [viitattu 25.02.2010].
<http://www.systemair.com/fi/Suomi/Systemairin-tuotteet/Ajankohtaista/EC/>
- Systemair Oy. 2009. EC-puhaltimet [pdf-tiedosto] [viitattu 25.02.2010] Saatavissa:
http://www.systemair.com/upload/Finland/EC/101402_br_EC_Broschuere_A4_06.pdf
- TAC Finland Oy. 2007. Hollolan kunta vastaa tulevaisuuden energiasäästöhaasteisiin [pdf-tiedosto] [viitattu 28.11.2009] Saatavissa:
<http://www.tac.com/fi/data/internal/data/05/57/1177058849962/Hollolan+kunta+vastaa+tulevaisuuden+energiansaastohaasteisiin.pdf>

Liitteet

Liite 1: Rakennusten energiatehokkuuteen vaikuttavat toiminnot

Table 1 — Function list and assignment to BAC efficiency classes

		Definition of classes							
		Residential				Non residential			
		D	C	B	A	D	C	B	A
AUTOMATIC CONTROL									
HEATING CONTROL									
Emission control									
	<i>The control system is installed at the emitter or room level, for case 1 one system can control several rooms</i>								
0	No automatic control								
1	Central automatic control								
2	Individual room automatic control by thermostatic valves or electronic controller								
3	Individual room control with communication between controllers and to BACS								
4	Integrated individual room control including demand control (by occupancy, air quality, etc.)								
Control of distribution network hot water temperature (supply or return)									
	<i>Similar function can be applied to the control of direct electric heating networks</i>								
0	No automatic control								
1	Outside temperature compensated control								
2	Indoor temperature control								
Control of distribution pumps									
	<i>The controlled pumps can be installed at different levels in the network</i>								
0	No control								
1	On off control								
2	Variable speed pump control with constant Δp								
3	Variable speed pump control with proportional Δp								
Intermittent control of emission and/or distribution									
	<i>One controller can control different rooms/zone having same occupancy patterns</i>								
0	No automatic control								
1	Automatic control with fixed time program								
2	Automatic control with optimum start/stop								
Generator control									
0	Constant temperature								
1	Variable temperature depending on outdoor temperature								
2	Variable temperature depending on the load								
Sequencing of different generators									
0	Priorities only based on loads								
1	Priorities based on loads and generator capacities								
2	Priorities based on generator efficiency (check other standard)								

jatkuu

Table 1 — (continued)

		Definition of classes							
		Residential				Non residential			
		D	C	B	A	D	C	B	A
COOLING CONTROL									
Emission control									
	<i>The control system is installed at the emitter or room level, for case 1 one system can control several rooms</i>								
0	No automatic control								
1	Central automatic control								
2	Individual room automatic control by thermostatic valves or electronic controller								
3	Individual room control with communication between controllers and to BACS								
4	Integrated individual room control including demand control (by occupancy, air quality, etc.)								
Control of distribution network cold water temperature (supply or return)									
	<i>Similar function can be applied to the control of direct electric heating networks</i>								
0	No automatic control								
1	Outside temperature compensated control								
2	Indoor temperature control								
Control of distribution pumps									
	<i>The controlled pumps can be installed at different levels in the network</i>								
0	No control								
1	On off control								
2	Variable speed pump control with constant Δp								
3	Variable speed pump control with proportional Δp								
Intermittent control of emission and/or distribution									
	<i>One controller can control different rooms/zone having same occupancy patterns</i>								
0	No automatic control								
1	Automatic control with fixed time program								
2	Automatic control with optimum start/stop								
Interlock between heating and cooling control of emission and/or distribution									
0	No interlock								
1	Partial interlock (dependant of the HVAC system)								
2	Total interlock								
Generator control									
0	Constant temperature								
1	Variable temperature depending on outdoor temperature								
2	Variable temperature depending on the load								
Sequencing of different generators									
0	Priorities only based on loads								
1	Priorities based on loads and generator capacities								
2	Priorities based on generator efficiency (check other standard)								

Table 1 — (continued)

		Definition of classes							
		Residential				Non residential			
		D	C	B	A	D	C	B	A
VENTILATION AND AIR CONDITIONING CONTROL									
Air flow control at the room level									
0	No control								
1	Manual control								
2	Time control								
3	Presence control								
4	Demand control								
Air flow control at the air handler level									
0	No control								
1	On off time control								
2	Automatic flow or pressure control with or without pressure reset								
Heat exchanger defrost control									
0	Without defrost control								
1	With defrost control								
Heat exchanger overheating control									
0	Without overheating control								
1	With overheating control								
Free mechanical cooling									
0	No control								
1	Night cooling								
2	Free cooling								
3	H _x -directed control								
Supply Temperature control									
0	No control								
1	Constant set point								
2	Variable set point with outdoor temperature compensation								
3	Variable set point with load dependant compensation								
Humidity control									
0	No control								
1	Supply air humidity limitation								
2	Supply air humidity control								
3	Room or exhaust air humidity control								

jatkuu

Table 1 — (concluded)

		Definition of classes							
		Residential				Non residential			
		D	C	B	A	D	C	B	A
LIGHTING CONTROL									
Occupancy control									
0	Manual on/off switch								
1	Manual on/off switch + additional sweeping extinction signal								
2	Automatic detection Auto On / Dimmed								
3	Automatic detection Auto On / Auto Off								
4	Automatic detection Manual On / Dimmed								
5	Automatic detection Manual On / Auto Off								
Daylight control									
0	Manual								
1	Automatic								
BLIND CONTROL									
0	Manual operation								
1	Motorized operation with manual control								
2	Motorized operation with automatic control								
3	Combined light/blind/HVAC control (also mentioned above)								
HOME AUTOMATION SYSTEM									
BUILDING AUTOMATION AND CONTROL SYSTEM									
0	No home automation No building automation and control system								
1	Centralized adapting of the home & building automation and control system to users needs: e.g. time schedule, set points...								
2	Centralized optimizing of the home and building automation and control system: e.g. tuning controllers, set points...								
TECHNICAL HOME AND BUILDING MANAGEMENT									
Detecting faults of home and building systems and providing support to the diagnosis of these faults									
0	No								
1	Yes								
Reporting information regarding energy consumption, indoor conditions and possibilities for improvement									
0	No								
1	Yes								

Liite 2: Rakennusautomaatiojärjestelmän energiatehokkuusluokan C vaatimukset

5.4 Reference list of BAC functions

A reference list of BAC functions is defined in Table 2. That table defines the minimum requirements of BAC and TBM functions according to BAC efficiency class C of Table 1.

Unless differently specified this list shall be used for the following:

- to specify the minimum functions to be implemented for a project;
- to define the BAC function to take into account for the calculation of energy consumption of a building when the BAC functions are not defined in detail.
- to calculate the energy use for the reference case in step 1 of the BAC efficiency factor method (first box in Figure 2 in chapter 8).

Unless differently specified by public authorities the minimum level of functions to be implemented corresponds to the functions defined in Table 2. Public authorities wishing to modify the reference list or minimum requirements respectively shall adapt this table.

Table 2 — Reference list of BAC functions

	Residential	Non residential
AUTOMATIC CONTROL		
HEATING CONTROL		
Emission control		
<i>The control system is installed at the emitter or room level, for case 1 one system can control several rooms</i>		
2	Individual room automatic control by thermostatic valves or electronic controller	
Control of distribution network water temperature (supply or return)		
<i>Similar function can be applied to the control of direct electric heating networks</i>		
1	Outside temperature compensated control	
Control of distribution pumps		
<i>The controlled pumps can be installed at different levels in the network</i>		
1	On off control	
2	Variable speed pump control with constant Δp	
Intermittent control of emission and/or distribution		
<i>One controller can control different rooms/zone having same occupancy patterns</i>		
1	Automatic control with fixed time program	
2	Automatic control with optimum start/stop	
Generator control		
1	Variable temperature depending on outdoor temperature	
Sequencing of different generators		
0	Priorities only based on loads	

jatkuu

Table 2 — (concluded)

		Residential	Non residential
COOLING CONTROL			
Emission control			
	<i>The control system is installed at the emitter or room level, for case 1 one system can control several rooms</i>		
2	Individual room automatic control by thermostatic valves or electronic controller		
Control of distribution network water temperature (supply or return)			
	<i>Similar function can be applied to the control of direct electric heating networks</i>		
1	Outside temperature compensated control		
Control of distribution pumps			
	<i>The controlled pumps can be installed at different levels in the network</i>		
1	On off control		
2	Variable speed pump control with constant Δp		
Intermittent control of emission and/or distribution			
	<i>One controller can control different rooms/zone having same occupancy patterns</i>		
1	Automatic control with fixed time program		
2	Automatic control with optimum start/stop		
Interlock between heating and cooling control of emission and/or distribution			
1	Partial interlock (dependant of the HVAC system)		
Generator control			
1	Variable temperature depending on outdoor temperature		
Sequencing of different generators			
0	Priorities only based on loads		

Table 2 — (concluded)

		Residential	Non residential
AUTOMATIC CONTROL			
VENTILATION AND AIR CONDITIONING CONTROL			
	Air flow control at the room level		
2	Time control		
	Air flow control at the air handler level		
0	No control		
1	On off time control		
	Heat exchanger defrost control		
1	With defrost control		
	Heat exchanger overheating control		
1	With overheating control		
	Free mechanical cooling		
1	Night cooling		
	Supply Temperature control		
1	Constant set point		
	Humidity control		
1	Supply air humidity limitation		
LIGHTING CONTROL			
	Occupancy control		
0	Manual on/off switch		
1	Manual on/off switch + additional sweeping extinction signal		
	Daylight control		
0	Manual		
BLIND CONTROL			
0	Motorized operation with manual control		
1	Motorized operation with automatic control		
HOME AUTOMATION SYSTEM			
BUILDING AUTOMATION and CONTROL SYSTEM			
0	No home and building automation functions		
1	Centralized adapting of the home & building automation system to users needs: e.g. time schedule, set points...		
TECHNICAL HOME AND BUILDING MANAGEMENT			
	Detecting faults of home and building systems and		
0	No		
1	Yes		
	Reporting information regarding energy consumption,		
0	No		

Lähde: SFS EN 15232 2008, 19-21